



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TRABAJO FIN DE GRADO

Título: Silla Ergonómica

Autor/a: Pablo Alberruche Lucas

Grado en Ingeniería Mecánica

Directora: Dra. c. Vanesa Zorrilla Muñoz

Fecha: 22 de Junio de 2015

Índice

Índice	2
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas	6
1. Acrónimos	7
2. Agradecimientos	8
3. Resumen.....	8
4. Introducción	9
4.1. Breve Reseña Histórica.....	9
4.2. Aspectos Posturales	10
4.3. Motivaciones	15
5. Objetivos e hipótesis	16
6. Metodología	16
6.1. Cálculo de Posiciones.....	16
6.1.1. Método REBA.....	17
6.1.2. Método RULA	22
6.2. Estudio Mecánico.....	27
6.3. Rediseño.....	27
6.4. Emisiones de CO ₂	28
7. Resultados	29
7.1. Cálculo de Posiciones.....	29
7.1.1. Método REBA.....	29
7.1.2. Método RULA	31
7.2. Estudio Mecánico.....	33
7.3. Rediseño.....	37
7.3.1. Asiento	37
7.3.2. Respaldo	40
7.3.3. Pata.....	42
7.3.4. Tornillo.....	44

7.3.5. Tuerca	46
7.3.6. Silla	48
7.4. Recalculación de Posición	49
7.4.1. Método REBA.....	49
7.4.2. Método RULA	50
7.5. Emisiones de CO ₂	51
8. Conclusiones.....	53
8.1. Líneas Futuras	53
9. Presupuesto.....	55
10. Planificación TFG.....	58
11. Referencias.....	59
12. Anexos.....	61
12.1. Anexo A	61
12.2. Anexo B	64

Índice de Figuras

Figura 1. Silla procedente de la tumba de Tutankhamon [2].	9
Figura 2. Trabajo estático VS Tiempo límite de mantenimiento de la fuerza [5].	11
Figura 3. Porcentaje de trabajadores con molestias en una zona determinada en sector de administración pública y educación [7, 8].	12
Figura 4. Porcentaje de partes del cuerpo con mayor porcentaje de accidentes de trabajo en sector administración pública y educación [7, 8].	13
Figura 5. Porcentaje de trabajadores con molestias en una zona determinada en sector de comercio y reparaciones [7, 8].	14
Figura 6. Porcentaje de partes del cuerpo con mayor porcentaje de accidentes de trabajo en sector comercio y reparaciones [7, 8].	14
Figura 7. TME más frecuentes según sexo [8].	15
Figura 8. Posturas grupo A [13].	23
Figura 9. Posturas grupo B [13].	23
Figura 10. Resumen cálculo de puntuación del método RULA [13].	24
Figura 11. Tabla A del método RULA [13].	24
Figura 12. Tabla B del método RULA [13].	25
Figura 13. Tabla de puntuación F de la puntuación final del método RULA [13].	26
Figura 14. Postura sentada vista de perfil.	29
Figura 15. Postura sentada vista de frente.	30
Figura 16. Plancha de bambú.	33
Figura 17. Modulo elástico y coeficiente de Poisson.	34
Figura 18. Densidad del bambú Moso.	34
Figura 19. Cargas y apoyos.	35
Figura 20. Malla de la pieza.	35
Figura 21. Desplazamiento eje z.	36
Figura 22. Distribución tensión.	36
Figura 23. Asiento en 3D.	38
Figura 24. Plano asiento.	39
Figura 25. Respaldo 3D.	40
Figura 26. Plano respaldo.	41
Figura 27. Pata 3D.	42
Figura 28. Plano pata.	43
Figura 29. Tornillo 3D.	44
Figura 30. Plano tornillo.	45
Figura 31. Tuerca 3D.	46
Figura 32. Plano tuerca.	47

Figura 33. Silla 3D.	48
Figura 34. Peso, volumen y área de superficie de la pata.	52
Figura 35. Tablero laminado bambú [27].	55
Figura 36. Diagrama de previsión de fechas para TFG.	58
Figura 37. Diagrama de Gantt de control de tiempos.	58
Figura 38. Tornillo cilíndrico con hexágono interior[29].	61
Figura 39. Tuerca [29].	62

Índice de Tablas

Tabla 1. TME [6].	11
Tabla 2. Demandas físicas de trabajadores en sector de administración pública y educación [7, 8].	12
Tabla 3. Demandas físicas en trabajadores en sector de comercio y reparaciones [7, 8].	13
Tabla 4. Puntuación del tronco según su movimiento [10].	18
Tabla 5. Puntuación del cuello según su movimiento [10].	18
Tabla 6. Puntuación de las piernas según su posición [10].	19
Tabla 7. Puntuación de los brazos según su posición [10].	19
Tabla 8. Puntuación de los antebrazos según su movimiento [10].	19
Tabla 9. Puntuación de las muñecas según su movimiento [10].	19
Tabla 10. Puntuación del grupo A [10].	20
Tabla 11. Puntuación de la relación carga/fuerza [10].	20
Tabla 12. Puntuaciones del grupo B [10].	20
Tabla 13. Distintas posibilidades de agarre [10].	21
Tabla 14. Puntuación total del método REBA [10].	21
Tabla 15. Niveles de riesgo y acción [10].	22
Tabla 16. Puntuación por la fuerza o carga [13].	25
Tabla 17. Significado de puntuación y nivel de acción [13].	26
Tabla 18. Puntuaciones de los métodos de las distintas posturas.	32
Tabla 19. Puntuaciones de los métodos antes y después del rediseño.	51
Tabla 20. Coste cajas de transporte [28].	57
Tabla 21. Medidas embalaje [28].	57
Tabla 22. Medidas tornillo cilíndrico con hexágono interior [29].	61
Tabla 23. Medidas tornillo cilíndrico con hexágono interior [29].	62
Tabla 24. Medidas tuerca [29].	63

1. Acrónimos

- IVA (Impuesto al Valor Agregado)
- NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health/Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional)
- OCRA (Occupational Repetitive Actions)
- OWAS (Ovako Working Analysis System/Sistema de Análisis de Trabajo Ovako)
- PLIBEL (Plan för Identifiering av Belastningsfaktorer/Plan para la Identificación de los factores de carga)
- REBA: Rapid Entire Body Assessment / evaluación rápida de cuerpo entero
- RULA: Rapid Upper Limb Assessment / evaluación rápida de la extremidad superior
- TME: Trastorno musculoesqueléticos

2. Agradecimientos

Deseo expresar en estas líneas mi agradecimiento a las personas e instituciones sin cuya colaboración no hubiera sido posible la realización de este trabajo de fin de grado.

Es por ello, que me gustaría agradecer a Vanesa Zorrilla, todo el apoyo y la dedicación que me ha brindado.

A mi familia sin los cuales no hubiera podido llegar a ser como soy ahora. Por toda su preocupación, apoyo y comprensión que han tenido conmigo a lo largo de todos estos años.

A la gente que siempre ha estado pendiente de mí y me ha ayudado a lo largo de esta etapa dándome su apoyo.

A todos mis amigos que no han dejado de estar pendiente de mí y hacerme ver que en la vida hay siempre algo más.

Y por último, quería agradecer a M^a de Belén Pérez Sebastián todo su apoyo incondicional que me demuestra cada día. Por su paciencia conmigo y por hacerme ser mejor persona cada día. Sin ella no sería lo que soy actualmente porque es la que me da fuerzas y hace que todo parezca sencillo, ya que a su lado no hay nada imposible.

3. Resumen

En este trabajo se va a llevar a cabo un rediseño de una silla de la facultad de la Universidad Carlos III de Madrid en la facultad de Leganés del edificio Sabatini. Con el objetivo de intentar buscar una mejora a la hora de pasar muchas horas en las sillas, antes planteadas, que supone una incomodidad a los alumnos, los cuales, han dejado patente su descontento con los asientos de estas aulas, dada su incomodidad.

Se realiza una pequeña reseña histórica sobre la silla y los inicios de la ergonomía. Junto con los distintos aspectos posturales que se pueden dar en distintos puestos de trabajo diferenciándolos por sectores y por el sexo del trabajador que lo desempeña.

Se plantean una serie de objetivos a cumplir con el trabajo. Se realiza un cálculo del grado de ergonomía de distintas posturas empleadas a la hora de sentarse mediante varios métodos internacionalmente reconocidos. Posteriormente con estos datos obtenidos se plantean una serie de mejoras que se aplicarán en el nuevo diseño para mejorar los resultados de los métodos anteriores, que significara que las mejoras introducidas son favorables.

Para realizar el diseño se realizara un estudio del comportamiento físico de la parte de la silla que más sollicitación mecánica tendrá, que es el asiento, ya que es donde se apoya el peso de la persona que lo utilizara. Se realiza el estudio para un material favorable al medio ambiente como es el bambú. Ya que no se solo se pretende realizar una silla de costes reducidos y bajo peso, sino también que sea lo menos contaminante posible y sus materiales sean reciclables y fáciles de manipular, lo que llevara a un mantenimiento más fácil y económico.

Se plantea una estimación de un presupuesto indicando el coste aproximado que supondría la fabricación de la silla.

4. Introducción

4.1. Breve Reseña Histórica

La silla ha sufrido muchos cambios de diseño a lo largo de la historia. Desde los inicios en el antiguo Egipto hasta nuestros días. A lo largo de los tiempos el asiento que ocupaba cada persona ha sido una diferenciación de su estatus social, desde los tronos a los simples bancos donde se sentaban en grupos. Este hecho se sigue produciendo siendo distinta la elección de una silla para distintos puestos de trabajo.

La primera aparición de la silla data del 2850 A. C. en Egipto donde era un signo de poder ya que eran donde se sentaba el faraón o los distintos gobernantes. Estas sillas-tronos tenían decoraciones en el respaldo hechas de oro y marfil con distintas tallas y jeroglíficos, las patas tenían forma de garras de felinos comúnmente de leones [1].



Figura 1. Silla procedente de la tumba de Tutankhamon [2].

La silla ha ido evolucionando junto con la cultura del momento y del lugar, dando como resultado muchos diseños distintos, desde diseños muy sobrios y funcionales hasta diseño que no se tenía en cuenta la comodidad o la utilidad sino el diseño como representación artística.

Desde la época de los egipcios y más tarde de los griegos se usaban técnicas básicas de ergonomía a la hora de crear herramientas para el trabajo. El termino ergonomía proviene del griego Έργον, que significa “trabajo”, y Νόμος, que significa “leyes naturales”. El termino de ergonomía se retomó a raíz del libro de 1857 “El esquema de la ergonomía, la ciencia de trabajo, basado en las observaciones de las Ciencias Naturales”.

En el siglo XIX Frederick Winslow Taylor fue pionero en la Administración Científica del Trabajo (taylorismo). Este método busca la forma más óptima para llevar a cabo una tarea específica [3] .

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, los países más importantes industrialmente hablando, empiezan a organizar seminarios para estudiar la influencia que puede ejercer el proceso laboral y el entorno industrial sobre el cuerpo humano.

Durante los años 20 se produce un intenso desarrollo de la fisiología, la psicología y la higiene del trabajo, cuyos resultados son ampliamente aplicados en la producción. A partir de los años 50 aparece la ergonomía. La definición que da la RAE de la ergonomía es:” Estudio de datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la maquina” [4].

4.2. Aspectos Posturales

Durante un trabajo estático los músculos que se encuentran contraídos provocan una compresión en los vasos sanguíneos que se traduce en un menor aporte de sangre al musculo contraído, los huesos y las articulaciones de la zona. De este modo el aporte de nutrientes y oxigeno se ve reducido el cual es necesario para realizar trabajo muscular. Esto origina la aparición de la fatiga muscular que limita la continuidad de la contracción [5].

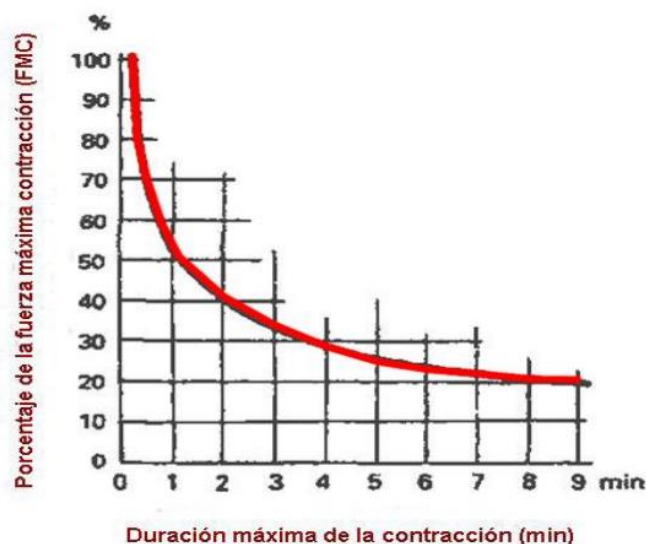


Figura 2. Trabajo estático VS Tiempo límite de mantenimiento de la fuerza [5].

La fatiga muscular se puede manifestar de varias formas, por ejemplo: sensación de calor en la zona del musculo, temblores musculares, sensación de hormigueo o, incluso, dolor muscular [5].

Es un proceso fisiológico que afecta a los músculos implicados en el esfuerzo, y la única opción de recuperación es el reposo. Si el reposo no se produce o no es suficiente para la recuperación de la fatiga muscular, pueden llegar a producirse trastornos musculoesqueléticos (TME) (Ibídem).

Otro efecto procedente del trabajo estático es el aumento de la frecuencia cardiaca. Ya que el corazón tiene que bombear más deprisa para que puedan llegar más cantidad de nutrientes al musculo que se encuentra contraído. Esto ha llevado a plantear es trabajo estático como un factor de riesgo en enfermedades cardiovasculares (Ibídem).

En el cuadro siguiente se realiza un desglose de los TME más comunes en según qué partes del cuerpo en puestos de trabajos administrativos o de educación.

Lesiones en muñeca/codo	-Síndrome del túnel carpiano -Artritis
Lesiones en espalda	-Cervicalgia -Dorsalgia -Lumbalgia
Lesiones en cadera/miembros inferiores	-Ciática

Tabla 1. TME [6].

Las demandas físicas que se producen en el sector de la administración y servicios son:

<i>Demanda Física</i>	<i>% Trabajadores que las refieren</i>
Repetir los mismos mov. de manos o brazos	48,1
Estar sentado sin levantarse	36
Adoptar posturas dolorosas o fatigantes	33,6
Estar de pie sin andar	29,9
Levantar o mover cargas pesadas	6,7
Aplicar fuerzas importantes	6,6
Levantar o mover personas	6,4

Tabla 2. Demandas físicas de trabajadores en sector de administración pública y educación [7, 8].

Estas demandas físicas producen unas molestias en el cuerpo humano que se dividen de la siguiente forma dependiendo de la zona del cuerpo donde se produzcan.

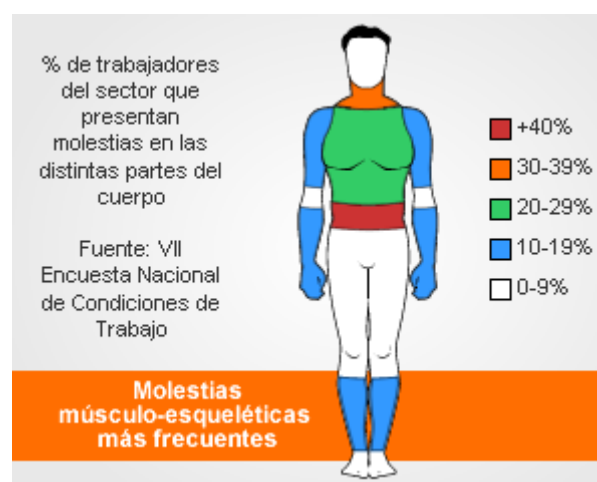


Figura 3. Porcentaje de trabajadores con molestias en una zona determinada en sector de administración pública y educación [7, 8].

Las distintas partes del cuerpo con una frecuencia de lesiones mayor en accidentes de trabajo se muestran en la figura 4. Se observa que la espalda es la zona con mayor porcentaje de lesiones.

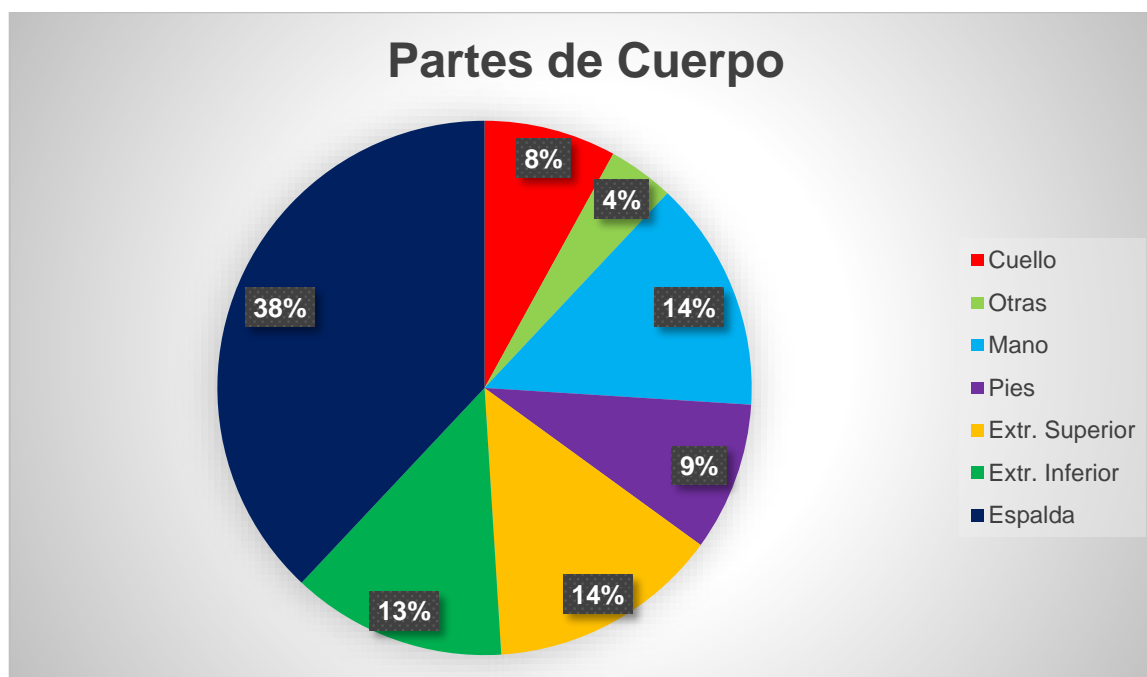


Figura 4. Porcentaje de partes del cuerpo con mayor porcentaje de accidentes de trabajo en sector administración pública y educación [7, 8].

Comparando los resultados del sector de la administración y servicios con el del comercio y reparaciones se obtienen los siguientes datos.

<i>Demanda Física</i>	<i>% Trabajadores que las refieren</i>
Repetir los mismos mov. de manos o brazos	54,1
Estar sentado sin levantarse	24,7
Adoptar posturas dolorosas o fatigantes	30,1
Estar de pie sin andar	41,6
Levantar o mover cargas pesadas	22,6
Aplicar fuerzas importantes	14,6
Levantar o mover personas	1

Tabla 3. Demandas físicas en trabajadores en sector de comercio y reparaciones [7, 8].

La demanda física varía en las secciones de estar sentado sin levantarse y en la de estar de pie sin andar. En el sector de comparación se obtiene más demanda a la hora de permanecer de pie sin andar con una diferencia de un 11,7% y menos demanda a la hora de estar sentado sin levantarse de un 11,3%.

Así, p.e., a la hora de cuantificar el porcentaje de las zonas con mayor número de molestias se puede indicar que las zonas de molestia y el porcentaje de trabajadores es el mismo entre los dos sectores, como se observa en la Figura 5.

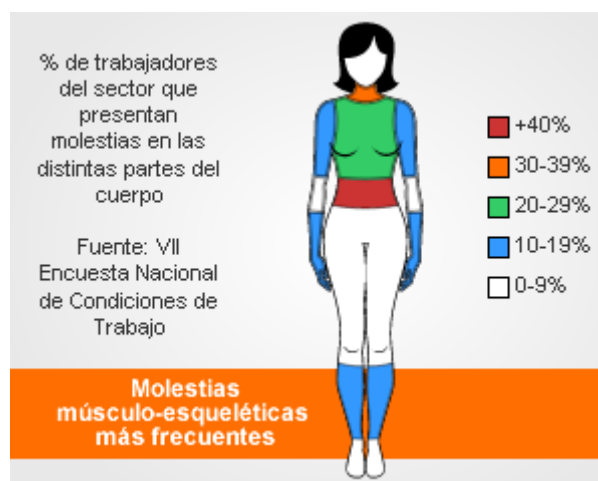


Figura 5. Porcentaje de trabajadores con molestias en una zona determinada en sector de comercio y reparaciones [7, 8].

Respecto a los accidentes relacionados con las distintas partes del cuerpo se mantienen casi iguales en los dos sectores (Comercio y reparaciones) reduciéndose los accidentes en las manos en el sector de comercio y reparaciones un 5% repartiéndose entre los accidentes en la espalda, cuello y extremidades superiores.

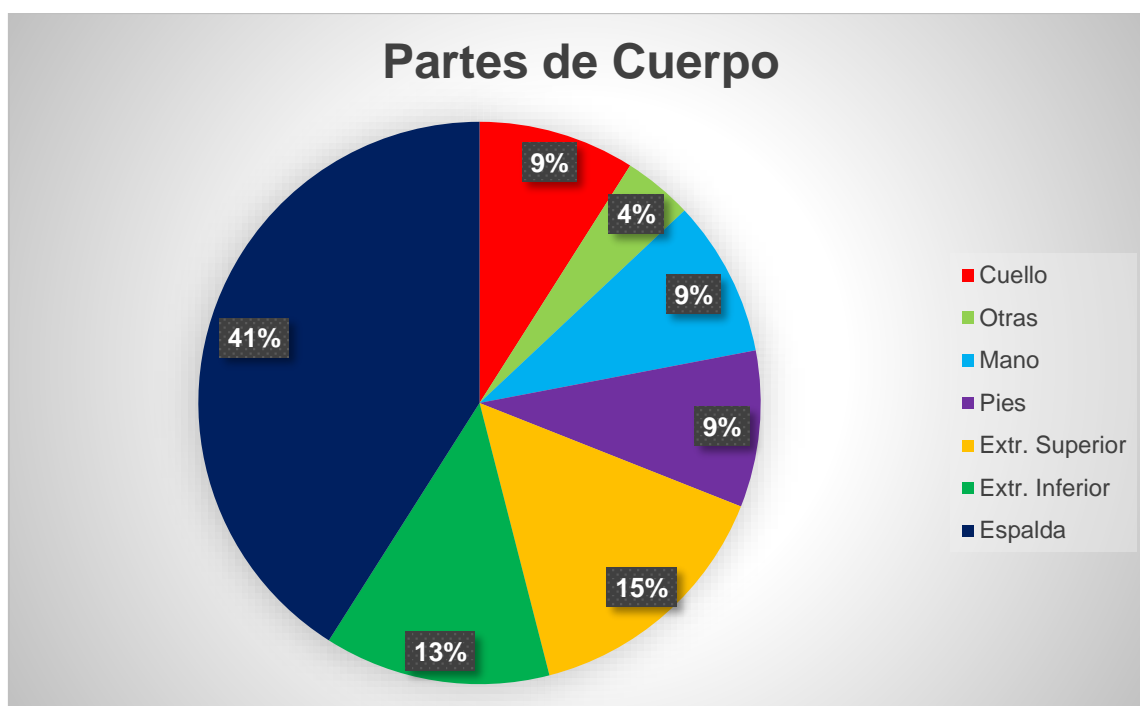


Figura 6. Porcentaje de partes del cuerpo con mayor porcentaje de accidentes de trabajo en sector comercio y reparaciones [7, 8].

El porcentaje de mujeres que señala algún TME es mayor que en los hombres, siendo el 80,9% de mujeres respecto a un 74,6% de los hombres [8].

Las zonas en las que se puede apreciar mayor diferencia son la nuca/cuello y en la zona alta de la espalda como se puede apreciar en la figura 7.

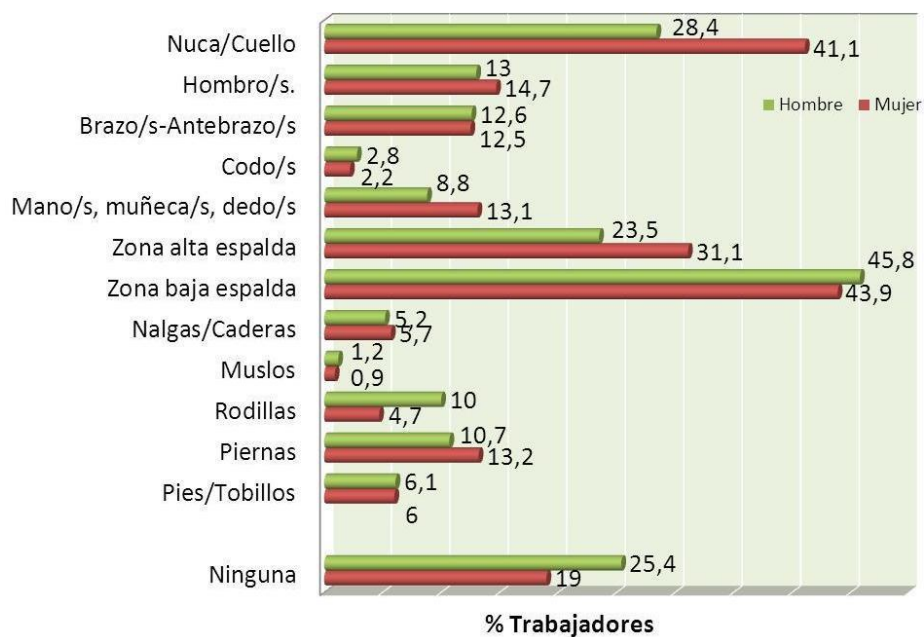


Figura 7. TME más frecuentes según sexo [8].

4.3. Motivaciones

A la hora de elegir realizar este trabajo se debe a intentar contribuir al desarrollo de la universidad y a querer contribuir a mejorar la misma. La intención es mejorar el lugar donde los estudiantes se pasan la mayor parte del tiempo mientras dura su paso por la universidad.

A la hora de asistir a clase es importante hacerlo en un entorno favorable a desarrollar todo el potencial posible de la persona. Un elemento clave es intentar que el lugar de trabajo sea lo más favorable al desempeño del trabajo posible, en el caso del estudiante, este lugar es donde se pasa entre 4 y 8 horas al día, la silla.

También a la hora de realizar exámenes el ambiente repercute en tu concentración y en tu rendimiento. Si se está en un lugar incómodo, no se podrá estar atento y concentrado al máximo posible ya que se estará continuamente moviéndose para encontrar una postura en la que uno se sienta cómodo.

Hoy en día el uso de ordenadores y tablets está cada vez más extendido y es más necesario para aumentar el rendimiento en clase o en el trabajo. Por consiguiente hay que tener en cuenta estos elementos a la hora de desarrollar un trabajo como este sobre la ergonomía en las sillas de la universidad.

Este planteamiento se ha llevado a cabo por gran variedad de alumnos de la universidad. Habiéndose creado hasta un grupo de Facebook donde se comenta la incomodidad y el mal estar en las sillas del edificio Sabatini.

<https://es-es.facebook.com/lasillasdelaUC3Msonpotrosdetortura>

Lo que se intenta en este trabajo es repercutir favorablemente en el lugar donde yo me he pasado una gran parte de este tiempo como estudiante de la universidad Carlos III. Intentando mejorar para seguir manteniendo la excelencia de la universidad en la Universidad Carlos III de Madrid.

5. Objetivos e hipótesis

Los objetivos que se pretenden conseguir con este TFG son:

- Identificar y analizar posturas estáticas y en movimiento y utilizar una metodología para el análisis ergonómico.
- Estudio de un diseño contemporáneo.
- Realización de un diseño aplicando las mejoras de características según estudios antropométricos de mujeres.
- Emplear materiales renovables y reutilizables en la fabricación.
- Reducir las emisiones de CO₂ en la fabricación del diseño.
- Cálculo de costes de producción.

6. Metodología

Para realizar el estudio postural se han empleado pupitres de la universidad Carlos III de Madrid en la facultad de Leganés. La muestra se ha tomado de los pupitres de las aulas del edificio Sabatini. El estudio aunque sean para sillas que pueden ser usadas tanto por hombres como por mujeres se ha realizado el estudio previo para el caso de las mujeres.

Los resultados se dividen en varias fases. En la primera fase, se aplican los métodos REBA y RULA.

En la segunda fase se realiza un estudio del comportamiento físico de la parte con más sollicitación mecánica, el asiento, con “Abaqus/CAE Student Edition 6.9-2”.

En la tercera fase se realiza un rediseño empleando estudios antropométricos desarrollados por la universidad de Valencia.

En la cuarta fase se procede a recalcular las puntuaciones de los métodos REBA y RULA para comprobar si se ha realizado alguna mejora. Y por último, se estudian las posibles emisiones de CO₂ que se expulsarían a la atmosfera en el proceso de fabricación.

6.1. Cálculo de Posiciones

Actualmente los métodos que se usan para realizar estudios ergonómicos estáticos o con un movimiento limitado son: el Rapid Entire Body Assessment/ evaluación rápida de

cuerpo entero (REBA) y el Rapid Upper Limb Assessment/ evaluación rápida de la extremidad superior (RULA). Existen otra serie de métodos y programas informáticos pero para el caso que se atañe en este trabajo los más extendidos en su utilización son el REBA y el RULA.

Otros posibles métodos que no se han utilizado serían:

- PLIBEL (Plan för Identifiering av Belastningsfaktorer/Plan para la Identificación de los factores de carga) [9]
- OWAS (Ovako Working Analysis System/Sistema de Análisis de Trabajo Ovako) [9]
- OCRA (Occupational Repetitive Actions) [9]
- NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health/Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional) [9]

Existen abundantes herramientas informáticas para la evaluación ergonómica, como el Jack o el CATIA, incluyen una parte de evaluación. Estos métodos pueden evaluar posturas estáticas pero al no existir cargas ni exponer un tiempo de postura, el resultado del cálculo de estas aplicaciones será el mismo que los métodos elegidos, haciendo innecesario para este caso el empleo de software.

6.1.1. Método REBA

A la hora de realizar el estudio postural se ha elegido utilizar el método REBA, evaluación rápida de cuerpo entero. Este método es capaz de incluir en su análisis factores de carga postural dinámicos y estáticos, la interacción persona-carga y un nuevo concepto de la “gravedad asistida” que quiere decir la influencia de la gravedad para mantener la postura [10, 11].

Este método se desarrolló en primer momento para actividades que suelen darse dentro del sector sanitario pero es aplicable a cualquier otro sector (Ibídem).

Los objetivos de este método son:

- Desarrollar un sistema de análisis postural sensible para riesgos musculoesqueléticos en una variedad de tareas.
- Dividir el cuerpo en segmentos para codificarlos individualmente, con referencia a los planos de movimiento.
- Suministrar un sistema de puntuación para la actividad muscular debida a posturas estáticas (segmento corporal o una parte del cuerpo), dinámicas (acciones repetidas, por

ejemplo repeticiones superiores a 4 veces/minuto, excepto andar), inestables o por cambios rápidos de la postura.

- Reflejar que la interacción o conexión entre la persona y la carga es importante en la manipulación manual pero que no siempre puede ser realizada con las manos.
- Incluir también una variable de agarre para evaluar la manipulación manual de cargas.
- Dar un nivel de acción a través de la puntuación final con una indicación de urgencia.
- Requerir el mínimo equipamiento (es un método de observación basado en lápiz y papel) (Ibídem).

A la hora de realizar el estudio, se separa las distintas partes del cuerpo en dos grupos. El grupo A está formado por el tronco, cuello y piernas y el grupo B por los brazos y las muñecas. Cada grupo y extremidad pueden producir distintas posturas (Ibídem).

El grupo A tiene 60 combinaciones en total para el tronco, cuello y piernas. La puntuación en el grupo A varía entre 1 y 9 puntos, a este valor se le debe añadir la puntuación resultante de la carga/fuerza cuyo rango está entre 0 y 3 (Ibídem).

Las tablas 4, 5 y 6 muestran las distintas puntuaciones en función de la posición del tronco, cuello y piernas respectivamente.

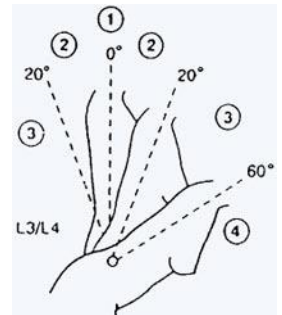
Movimiento	Puntuación	Corrección	
Erguido	1	Añadir +1 si hay torsión o inclinación lateral	
0°-20° flexión 0°-20° extensión	2		
20°-60° flexión > 20° extensión	3		
> 60° flexión	4		

Tabla 4. Puntuación del tronco según su movimiento [10].

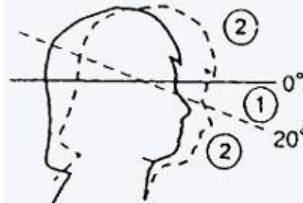
Movimiento	Puntuación	Corrección	
0°-20° flexión	1	Añadir +1 si hay torsión o inclinación lateral	
20° flexión o extensión	2		

Tabla 5. Puntuación del cuello según su movimiento [10].

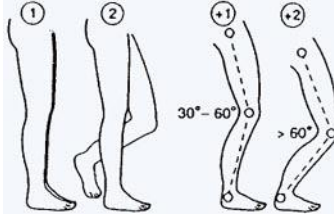
Posición	Puntuación	Corrección	
Soporte bilateral, andando o sentado	1	Añadir +1 si hay flexión de rodillas entre 30 y 60°	
Soporte unilateral, soporte ligero o postura inestable	2	+2 si las rodillas están flexionadas más de 60° (salvo postura sedente)	

Tabla 6. Puntuación de las piernas según su posición [10].

El grupo B tiene 36 combinaciones para la parte superior del brazo, parte inferior del brazo y muñecas. La puntuación en el grupo B varía entre 0 y 9 puntos, a este resultado se le debe añadir el obtenido en la tabla de agarre cuyo rango está entre 0 y 3 (Ibídem).

Las tablas 7, 8 y 9 muestran las distintas puntuaciones en función de la posición de los brazos, antebrazos y manos respectivamente.

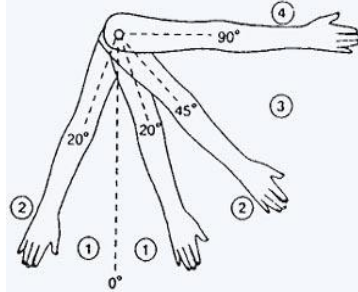
Posición	Puntuación	Corrección	
0°-20° flexión/extensión	1	Añadir +1 si hay abducción o rotación	
> 20° extensión 21°-45° flexión	2	+1 elevación del hombro	
46°-90° flexión	3	-1 si hay apoyo o postura a favor de la gravedad	
> 90° flexión	4		

Tabla 7. Puntuación de los brazos según su posición [10].

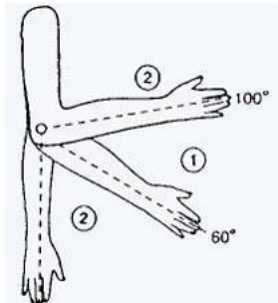
Movimiento	Puntuación	
60°-100° flexión	1	
< 60° flexión > 100° flexión	2	

Tabla 8. Puntuación de los antebrazos según su movimiento [10].

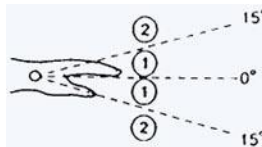
Movimiento	Puntuación	Corrección	
0°-15° flexión/extensión	1	Añadir	
> 15° flexión/extensión	2	+1 si hay torsión o desviación lateral	

Tabla 9. Puntuación de las muñecas según su movimiento [10].

Para saber el valor de la puntuación del grupo A se necesita una tabla que relación la puntuación individual de cada contribución y como resultado da el valor de la puntuación del grupo A (ver tabla 10).

		Cuello											
		1				2				3			
Piernas		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tronco	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tabla 10. Puntuación del grupo A [10].

Para calcular la puntuación final del grupo A se necesita sumar la puntuación de la relación de la carga/fuerza.

0	1	2	+1
Inferior a 5 Kg	5-10 Kg	10 Kg	Instauración rápida o brusca

Tabla 11. Puntuación de la relación carga/fuerza [10].

Para el grupo B también es necesario una tabla que combine las distintas puntuaciones de las distintas partes que componen el grupo (ver tabla 12).

		Antebrazo					
		1			2		
Muñeca		1	2	3	1	2	3
Brazo	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Tabla 12. Puntuaciones del grupo B [10].

A la puntuación obtenida en la tabla B se debe de sumar lo correspondiente a la tabla de agarre, tal y como se observa en la tabla 13.

0 - Bueno	1 - Regular	2 - Malo	3 – Inaceptable
Buen agarre y fuerza de agarre.	Agarre aceptable.	Agarre posible pero no aceptable.	Incomodo, sin agarre manual. Aceptable usando otras partes del cuerpo.

Tabla 13. Distintas posibilidades de agarre [10].

Una vez obtenidos los resultados de los dos grupos distintos y sumados sus valores correspondientes se para calcular la puntuación total se hace uso de una tabla que relaciona las puntuaciones de los dos grupos. El número total de posibles combinaciones es de 144 [10].

Puntuación A	Puntuación B												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Actividad	+1: Una o más partes del cuerpo estáticas, por ej. Aguantadas más de 1 min.												
	+1: Movimientos repetitivos, por ej. Repetición superior a 4 veces/minuto												
	+1: Cambios posturales importantes o posturas inestables.												

Tabla 14. Puntuación total del método REBA [10].

La puntuación total del método puede variar de 1 a 15, este resultado indica el posible riesgo que supone realizar el tipo de tarea analizado y si es o no es necesario algún tipo de acción para modificar la tarea (ver tabla 15).

<i>Nivel de acción</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Nivel de riesgo</i>	<i>Intervención y posterior análisis</i>
0	1	Inapreciable	No necesario
1	2-3	Bajo	Puede ser necesario
2	4-7	Medio	Necesario
3	8-10	Alto	Necesario pronto
4	11-15	Muy alto	Actuación inmediata

Tabla 15. Niveles de riesgo y acción [10].

El método REBA guarda mucha similitud con el método RULA, la diferencia que existe entre ellos es que el REBA tiene un carácter más general y el RULA se centra más en el análisis de la extremidad superior y en trabajos con movimientos repetitivos.

6.1.2. Método RULA

El método RULA apareció en el año 1993. Fue desarrollado para analizar la exposición individual de los trabajadores a factores de riesgo de padecer TME del miembro superior relacionados con el puesto de trabajo. El área donde se aplicó este método de estudio fue en puestos de la confección, de PVD, de cajas de supermercados, en tareas de microscopio, en operaciones de la industria del automóvil, y en una variedad de tareas de fabricación donde se podían dar lugar los factores de riesgo citados [12, 13].

El método RULA divide el cuerpo humano en dos grupos. El grupo A está formado por el brazo, el antebrazo y la muñeca. Y el grupo B incluye el cuello, el tronco y las piernas (Ibídem).

Cada postura de cada parte de los grupos tiene una puntuación determinada por las figuras 8 y 9.

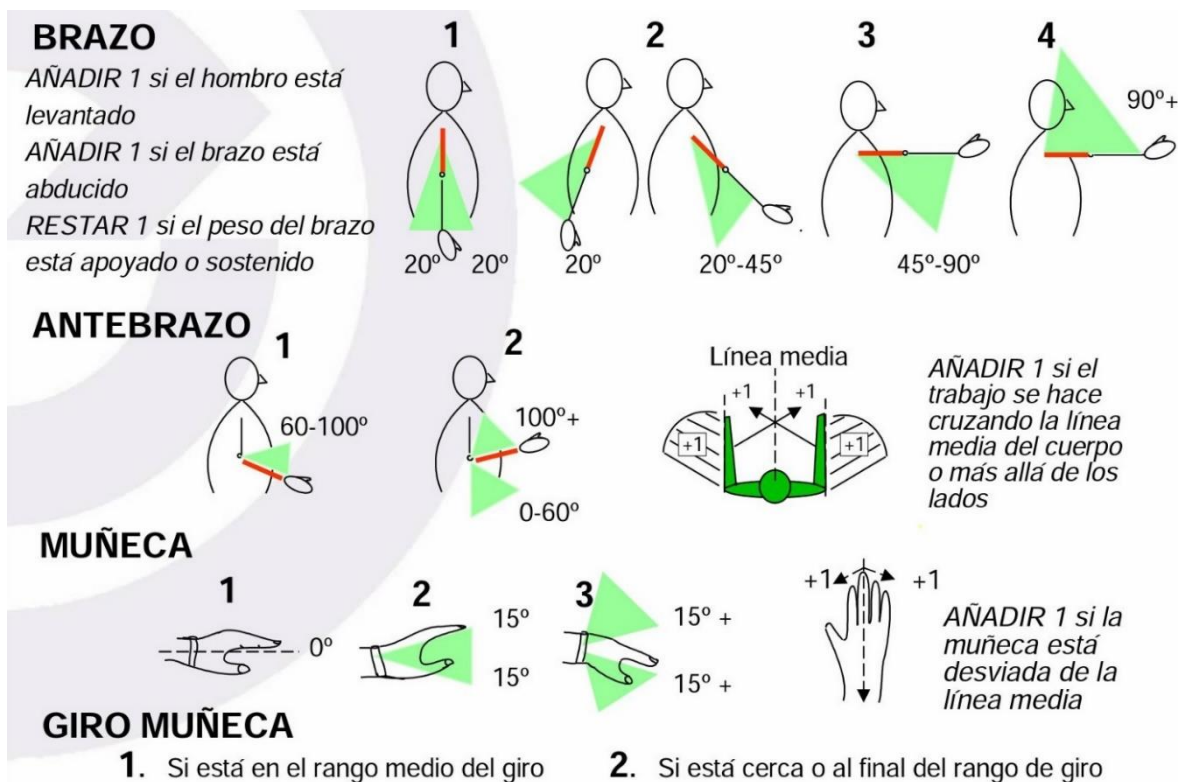


Figura 8. Posturas grupo A [13].

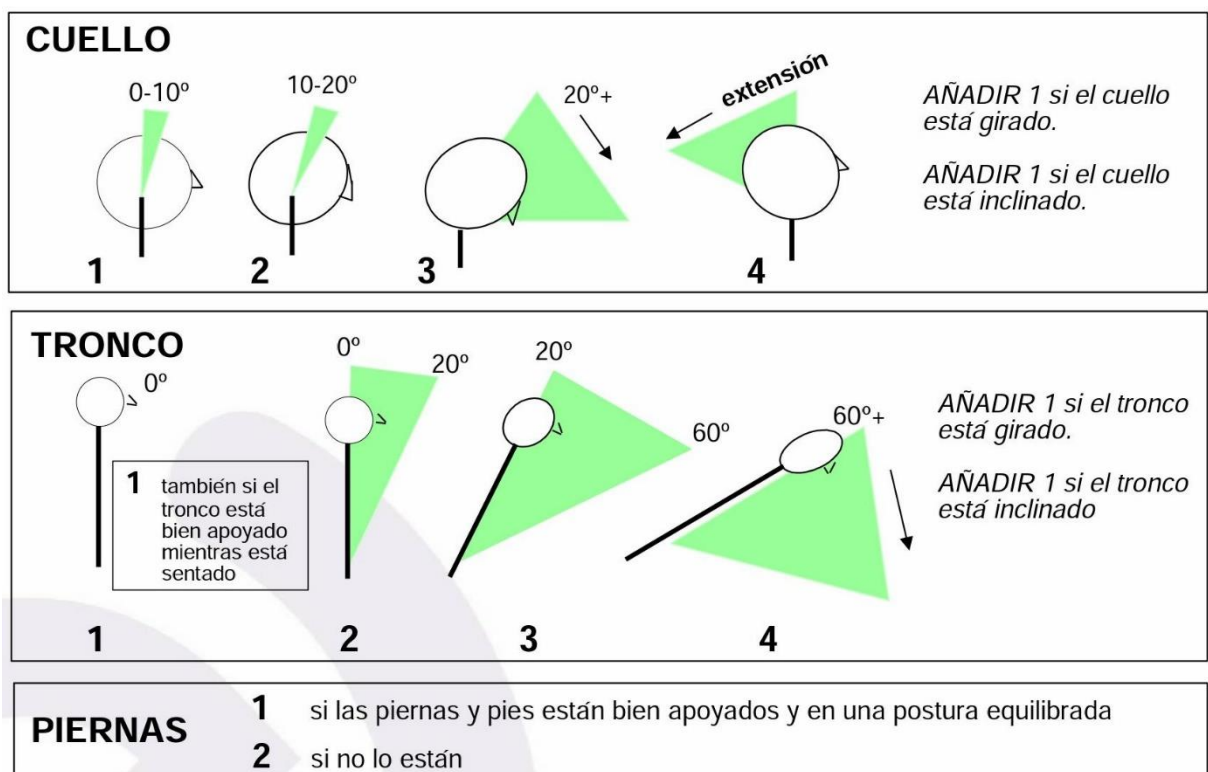


Figura 9. Posturas grupo B [13].

La puntuación total del meto se calcula según la figura 9.

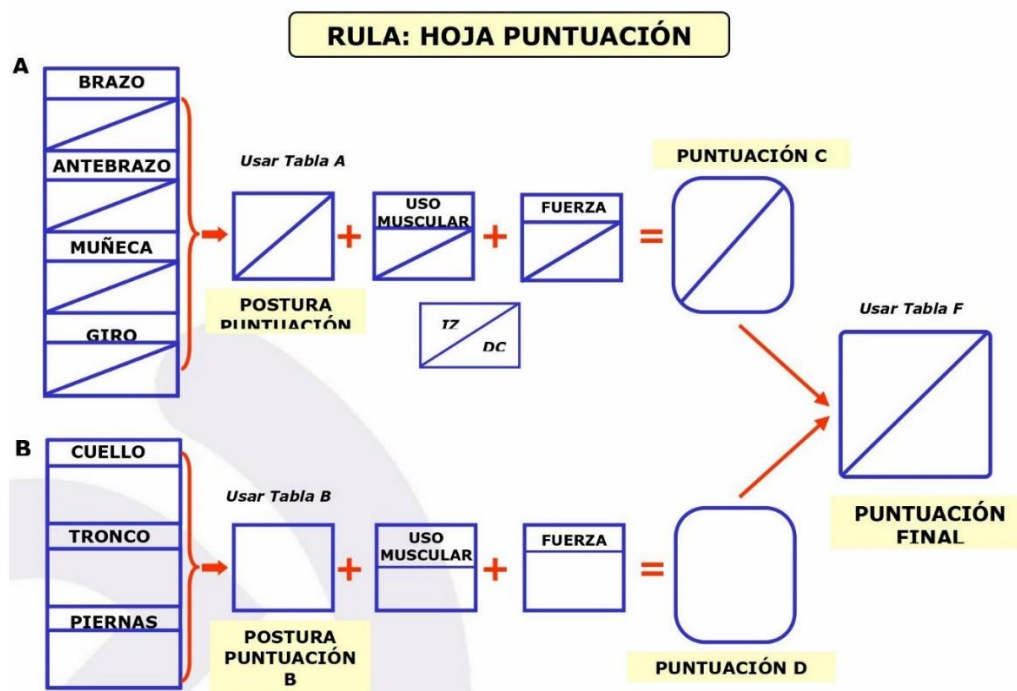


Figura 10. Resumen cálculo de puntuación del método RULA [13].

Para realizar el cómputo total de cada grupo se hace uso de las tablas de las figuras 11 y 12.

		PUNTUACIÓN DE LA MUÑECA							
		1		2		3		4	
BRAZO	ANTEBRAZO	GIRO		GIRO		GIRO		GIRO	
1	1	1	2	1	2	1	2	1	2
		1	2	2	2	2	3	3	3
		2	2	2	2	3	3	3	3
		2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
		3	3	3	3	3	4	4	4
		3	4	4	4	4	4	5	5
		3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
		3	4	4	4	4	4	5	5
		4	4	4	4	4	5	5	5
		4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
		4	4	4	4	4	5	5	5
		4	4	4	5	5	5	6	6
		4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
		5	6	6	6	6	7	7	7
		6	6	6	7	7	7	7	8
		6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
		8	8	8	8	8	9	9	9
		9	9	9	9	9	9	9	9
		9	9	9	9	9	9	9	9

Figura 11. Tabla A del método RULA [13].

		PUNTUACIÓN DE LA POSTURA DEL TRONCO											
		1		2		3		4		5		6	
		PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
PUNTUACIÓN DE LA POSTURA DEL CUELLO	1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
	2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
	4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
	5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
	6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Figura 12. Tabla B del método RULA [13].

En función del uso muscular y la fuerza se puede incrementar el resultado del grupo A y B.

El uso muscular es repetitivo si la acción se realiza más de 4 veces por minuto. Si esto se produce se debe incrementar la puntuación del grupo A y B en 1. También se debe incrementar en 1 si la postura es principalmente estática, esto significa si la postura se mantiene estática durante más de un minuto (Ibídem).

Según la fuerza se debe seguir la siguiente tabla. La puntuación resultante se debe sumar a los grupos A y B.

0	1	2	3
No resistencia	2-10 kg de carga o fuerza intermitente	2-10 kg de carga estática	10 kg o más de carga estática
Menos de 2 kg de carga o fuerza intermitente		2-10 kg de carga o fuerza repetida	10 kg o más de carga o fuerzas repetidas
		>10 kg de carga o fuerza intermitente	Sacudidas o fuerzas que aumentan rápidamente

Tabla 16. Puntuación por la fuerza o carga [13].

Con los resultados finales de los dos grupos se realiza el cálculo de la puntuación final según la tabla de la figura 13.

TABLA F: PUNTUACIÓN FINAL

PUNTUACIÓN D (cuello, tronco, pierna)

		1	2	3	4	5	6	7+
PUNTUACIÓN C (miembro superior)	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8	5	5	6	7	7	7	7

Figura 13. Tabla de puntuación F de la puntuación final del método RULA [13].

Una vez obtenido el resultado final según su valor tiene un significado y una urgencia de actuación distinta según la Tabla 17.

<i>Nivel de acción</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Significado</i>
1	1 ó 2	La postura es aceptable si no se mantiene o repite durante largos periodos.
2	3 ó 4	Podría requerirse análisis complementarios y cambios.
3	5 ó 6	Se precisan investigaciones y cambios a corto plazo.
4	7	Se requiere investigaciones y cambios inmediatos.

Tabla 17. Significado de puntuación y nivel de acción [13].

6.2. Estudio Mecánico

Para saber si la silla sería capaz de aguantar las solicitaciones mecánicas que se necesitan para un elemento de uso cotidiano se realiza un cálculo por elementos finitos. El programa usado es “Abaqus/CAE Student Edition 6.9-2”. Para realizar este cálculo es necesario seguir una serie de pasos.

Se debe dibujar la pieza a la cual se le va a aplicar el cálculo, en el caso que corresponde se simulará la pieza más crítica de la silla que es el asiento.

Una vez se tiene la pieza hay que asignarle unas propiedades mecánicas. Se utilizará las propiedades mecánicas del bambú laminado ya que se intenta que el material empleado sea lo más respetuoso con el medio ambiente posible.

El siguiente paso es crear las restricciones de movimiento de la pieza y aplicar las cargas que posee, pudiéndose aplicar tanto cargas puntuales como cargas superficiales o cargas aplicadas en el tiempo con distintos módulos y direcciones.

Y en último lugar, antes de proceder a ejecutar el cálculo, se debe mear la pieza. Según la densidad de nodos de la malla el cálculo será más exacto, pero el tiempo de cálculo será mayor ya que tiene que realizar un mayor número de cálculos. Al usar la versión estudiantil de “Abaqus” el tamaño de la malla máxima viene predefinida, impidiendo un cálculo más fino que el realizado.

6.3. Rediseño

En el rediseño se realiza un ecodiseño. El ecodiseño se basa en diseñar productos que tengan en cuenta al Medio Ambiente, reduciendo su impacto ambiental a lo largo de todo su Ciclo de Vida [14, 15].

La definición de ecodiseño es: *“técnica que considera los aspectos ambientales en todas las etapas del proceso de desarrollo de productos, esforzándose por conseguir productos con el impacto ambiental mínimo posible a lo largo de todo su Ciclo de Vida”* [14-16].

El Ciclo de Vida de un producto son todas las etapas consecutivas e interrelacionadas del mismo. Desde la obtención de las materias primas hasta su eliminación tras su desecho [14].

Para llevar a cabo esta forma nueva de diseño se emplea la Norma ISO 14006 de “Sistemas de Gestión Ambiental, Directrices para la incorporación del ecodiseño”. La cual el objetivo principal es la mejora ambiental del producto sobre el producto o servicio a realizar [17].

En el proceso se debe tener en cuenta varios factores [14-17]:

- Selección de materiales con bajo impacto ambiental
- Reducción de materiales distintos y número de componentes del producto
- Mejores técnicas de producción
- Distribución eficiente
- Productos fáciles de limpiar, reparar y reutilizar
- Aceptación y reutilización total o parcial del producto en la etapa final de su ciclo de vida por parte de la empresa
- Evitar materiales que sean difíciles de separar
- Menor peso posible

Este proceso engloba todas las fases del diseño: entradas, producto y salidas.

En las entradas se tendrá en cuenta el consumo de materiales, agua y energía. En la fase del producto se valora la obtención de materiales, los procesos de fabricación, distribución, uso y fin de vida. Y por último, en la fase de salidas se deberían observar los residuos, emisiones, vertidos, ruido [14]. Esta última fase de salidas se excluye del trabajo y en la primera fase solo se tendrá en cuenta la elección de los materiales.

6.4. Emisiones de CO₂

Se realiza un estudio preliminar de la cantidad de CO₂ que hipotéticamente se emitiría a la atmósfera a la hora de fabricar la silla.

La elección de los materiales que se lleva a cabo son escogidos para intentar reducir lo máximo posible estas emisiones e intentar ser respetuoso con el Medio Ambiente y emplear materiales que incluso puedan favorecerlo gracias a emplear materiales que en su proceso de generación sean beneficiosos, así como utilizar materiales que en su generación absorban CO₂. Pudiendo llegar a absorber más CO₂ del que se genera con su fabricación.

Se buscarán los datos de emisiones de CO₂ de cada material que se empleará en la fabricación de la silla.

7. Resultados

7.1. Cálculo de Posiciones.

Según los métodos anteriormente descritos, se calculan los resultados para un uso cotidiano de unos pupitres de la universidad Carlos III de Madrid en la facultad de Leganés.

7.1.1. Método REBA

Se ha realizado un estudio de una postura en una silla de la universidad Carlos III de Madrid. Se ha procedido a hacer una serie de pruebas con una mujer en distintas posturas en la posición sentada y realizando una serie de acciones comunes, como recoger un objeto del suelo.

La postura inicial, que se debería adoptar siempre según el diseño, se puede apreciar en la figura 14 y 15:



Figura 14. Postura sentada vista de perfil.



Figura 15. Postura sentada vista de frente.

Según el método las puntuaciones que resultan de esta postura son:

En el grupo A:

- Tronco: 2. Por extensión sin torsión o inclinación lateral entre 0° - 20° .
- Cuello: 1. Por flexión sin torsión o inclinación lateral entre 0° - 20° .
- Piernas: $1+2=3$. 1 por estar sentado y se suma 2 por la flexión de rodillas entre $>60^{\circ}$.

Según la tabla 10 el resultado del grupo A sería igual a 4. A este valor habría que añadirle un coeficiente según corresponda según la tabla 11 en función de la relación carga/fuerza, en el caso de estudio el coeficiente es 0, por lo cual el valor del grupo A permanece igual.

En el grupo B:

- Brazo: $3-1=2$. 2 por flexión de 46° - 90° y se resta 1 porque existe apoyo en la mesa.
- Antebrazo: 2. Por flexión $<60^{\circ}$.
- Muñecas: 1. Por flexión/extensión entre 0° - 15° .

Según la tabla 12 el resultado del grupo B sería igual a 2. A este valor habría que añadirle un coeficiente según corresponda según la tabla 13 en función del tipo de agarre, en el caso de estudio el coeficiente es 1 ya que el agarre es aceptable, por lo cual el valor del grupo B sería 3.

Con el resultado final de los dos grupos y haciendo uso de la tabla 14 se obtiene el resultado final. En este caso el resultado obtenido es de 4. A este resultado se puede ver

incrementado por ciertos factores que en nuestro caso se cumple que una o más partes del cuerpo están estáticas por lo cual el resultado se ve incrementado en 1, dando lugar a un resultado final de 5.

Con el resultado final se comprueba el nivel de acción, de riesgo y la intervención y posterior análisis según la tabla 15. En la postura estudiada los niveles son los siguientes:

- Nivel de acción: 2.
- Nivel de riesgo: Medio.
- Intervención y posterior análisis: Necesario.

7.1.2. Método RULA

La postura a estudiar y la silla es la misma que en el método anterior. La postura se puede apreciar en las figuras 14 y 15.

Según el método las puntuaciones que resultan de esta postura son:

En el grupo A:

- Brazos: $3-1=2$. 3 por flexión entre 45° - 90° y -1 por el peso del brazo estar apoyado.
- Antebrazos: 2. Por flexión entre 60° - 100° .
- Muñecas: 2. Por flexión o extensión entre 0° - 15° .

Según la figura 11 el resultado del grupo A es de 3.

En el grupo B:

- Cuello: 1. Por flexión entre 0° - 10° .
- Tronco: 1. Bien apoyado.
- Piernas: 1. Piernas y pies bien apoyados y en una postura de equilibrio.

Según la figura 12 el resultado del grupo B es de 1.

Una vez se obtienen las puntuaciones de los dos grupos el siguiente paso consiste en sumar unos coeficientes a los dos grupos por igual si se cumplen una serie de requisitos.

El primer coeficiente que se podría añadir es en función del uso muscular. En esta postura al ser una postura estática, el coeficiente adquiere un valor de 1.

El segundo coeficiente es en función de la aplicación de fuerzas. En este caso al no existir resistencias, el coeficiente es 0.

Por lo tanto se le debe añadir una unidad a los resultados de ambos grupos. Siendo el resultado final de cada uno:

- Grupo A: 4.
- Grupo B: 2.

Con el resultado final de ambos grupos se obtiene el resultado final del método usando la figura 13. Siendo el resultado final de 3. Según la puntuación resultante existen varios niveles de acción. Al tener una puntuación de 3 el nivel de acción según la tabla 17 es de nivel de acción 2, que significa que se podrían requerir estudios complementarios y posibles cambios.

La postura estudiada no es la que se emplea constantemente ya que a lo largo del tiempo que se permanece se suele cambiar de postura o se pueden producir distintas acciones, como el agacharse a recoger un objeto que se ha caído de la mesa.

Las posturas que también se tienen en cuenta son:

Postura 1: Postura inicial de estudio.

Postura 2: Inclinado hacia adelante.

Postura 3: Con los codos apoyados en la mesa.

Postura 4: Inclinado y agachado lateralmente para recoger un objeto del suelo.

<i>Postura</i>	<i>Método REBA</i>	<i>Método RULA</i>
<i>Postura 1</i>	5	3
<i>Postura 2</i>	7	4
<i>Postura 3</i>	7	5
<i>Postura 4</i>	11	6

Tabla 18. Puntuaciones de los métodos de las distintas posturas.

Según los resultados se puede apreciar que las distintas posturas cotidianas adoptadas a la hora de sentarse son bastante perjudiciales siendo todas de carácter de acción necesaria como mínimo.

Según los datos obtenidos anteriormente se llevan a cabo los cambios a realizar en el diseño:

En un primer lugar se elimina el anclaje del asiento al suelo y la mesa posterior. Esto se realiza para poder regular la longitud de la silla a la mesa. De esta forma la flexión se podría reducir a un ángulo entre 21° y 45°.

Otra mejora es reducir la inclinación del respaldo del asiento hasta que quedase vertical. De esta forma la extensión de la espalda pasaría a ser de 0°.

7.2. Estudio Mecánico

En un primer lugar, ya que se va a realizar un rediseño del asiento se eligen los materiales a emplear en la fabricación teniendo en cuenta el impacto medio ambiental, resistencia mecánica, peso y coste de producción. Los materiales escogidos son:

- Acero: Para las patas y la diferente tornillería.
- Bambú: Para el asiento y el respaldo.

La elección del bambú como material de construcción se debe a varios factores.

Antes de realizar el desarrollo del diseño se realiza un estudio del comportamiento mecánico del bambú, en este caso en específico para el asiento ya que será el que reciba todo el peso de la persona. El programa utilizado para esta simulación es “Abaqus/CAE Student Edition 6.9-2”.

Para simplificar el estudio se ha realizado la simulación con una plancha de bambú Moso de 0.5x0.23x0.2 m.

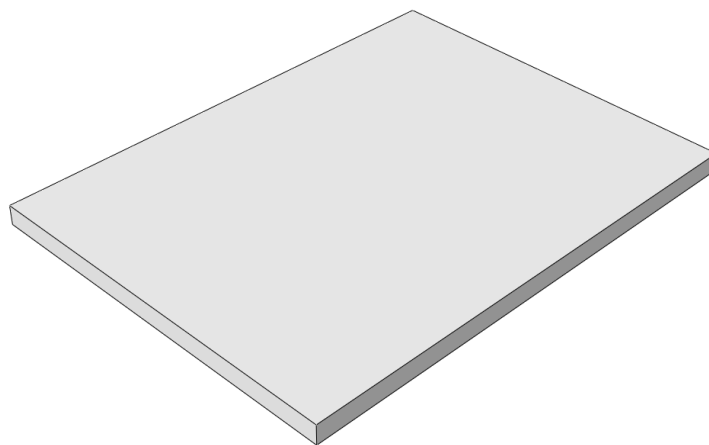


Figura 16. Plancha de bambú.

Se programan las características para el material deseadas. En un primer lugar, la densidad del material, que en este caso es de 600 kg/m³. Y a continuación el modulo elástico y el coeficiente de Poisson. En el caso del bambú Moso el modulo elástico tiene un valor de 9*10⁹ Pa y el coeficiente de Poisson de 0.4 [18].

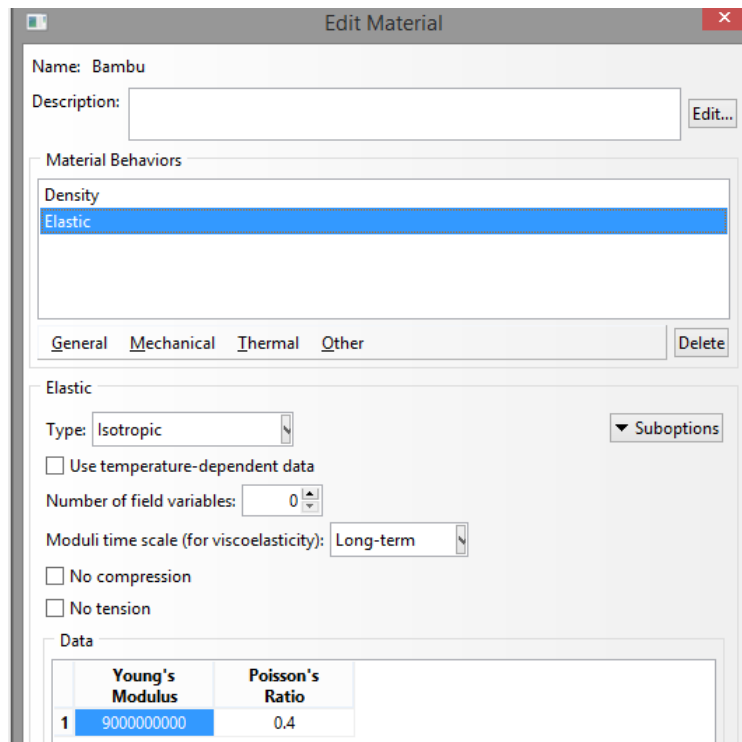


Figura 17. Modulo elástico y coeficiente de Poisson.

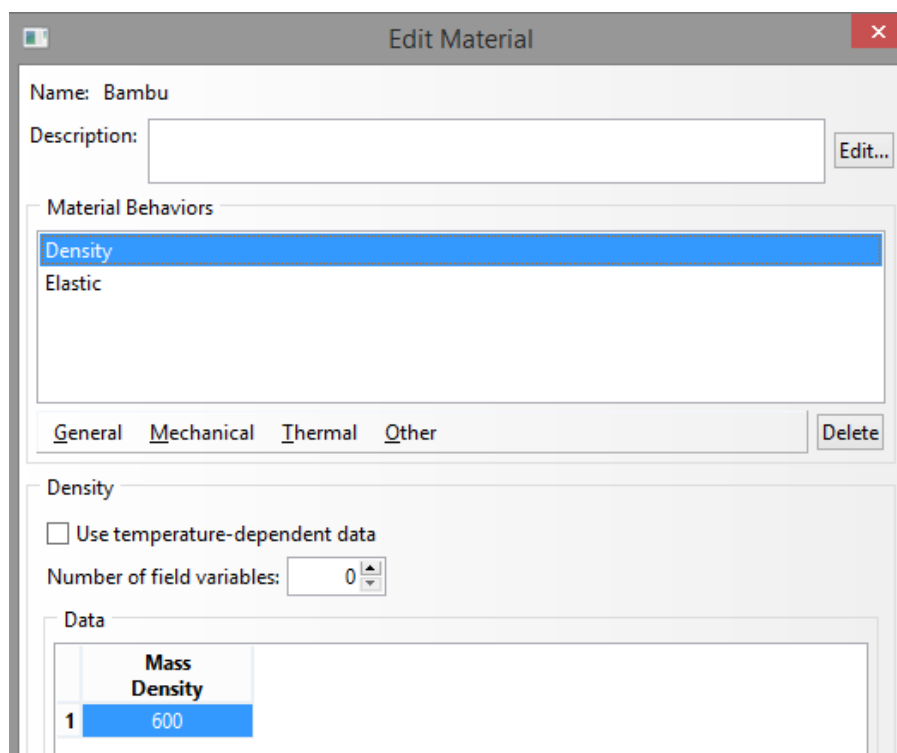


Figura 18. Densidad del bambú Moso.

Se crean las restricciones de movimiento de la plancha para que fije los vértices inferiores laterales para simular el apoyo de la plancha en las patas de la estructura de acero y se aplica una carga distribuida en toda la superficie de 980 N para simular la peor restricción de un peso de una persona de 100 kg.

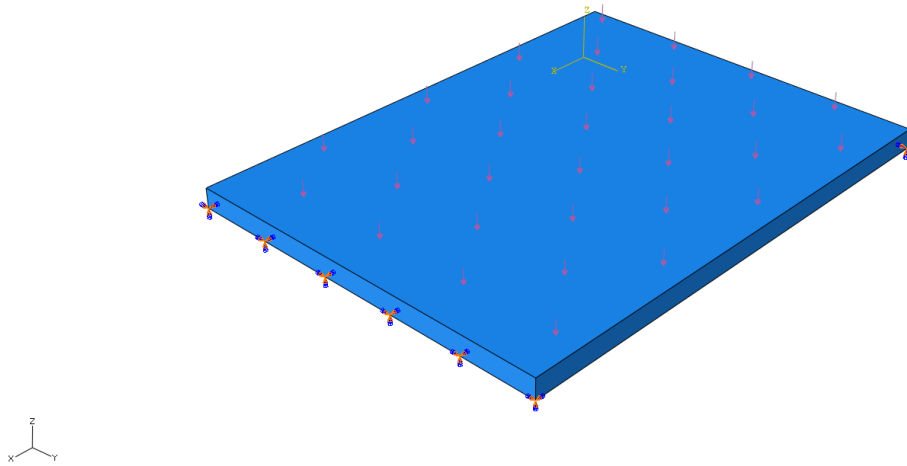


Figura 19. Cargas y apoyos.

Se efectúa la malla de la pieza para realizar el cálculo según el método de elementos finitos. Al ser esta una versión estudiantil del programa, el número de nodos está limitado y la malla que se puede crear no es muy fina.

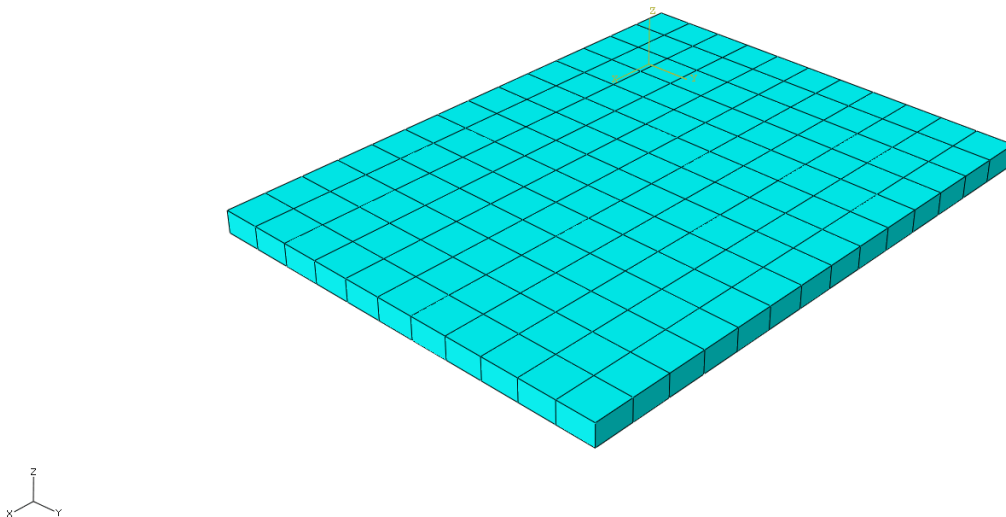
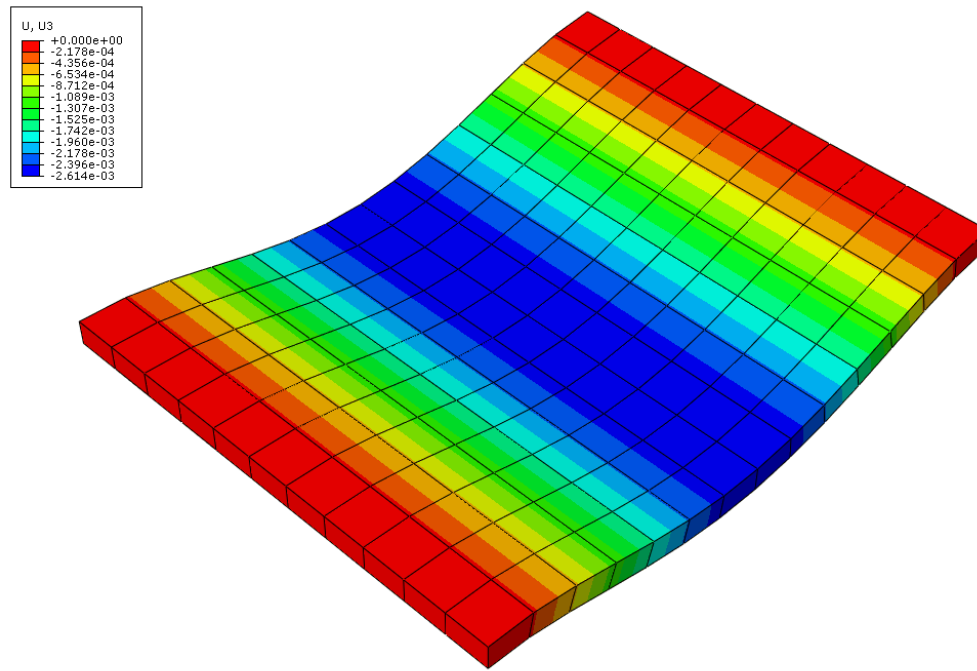


Figura 20. Malla de la pieza.

Por último, se procede a ejecutar el cálculo.

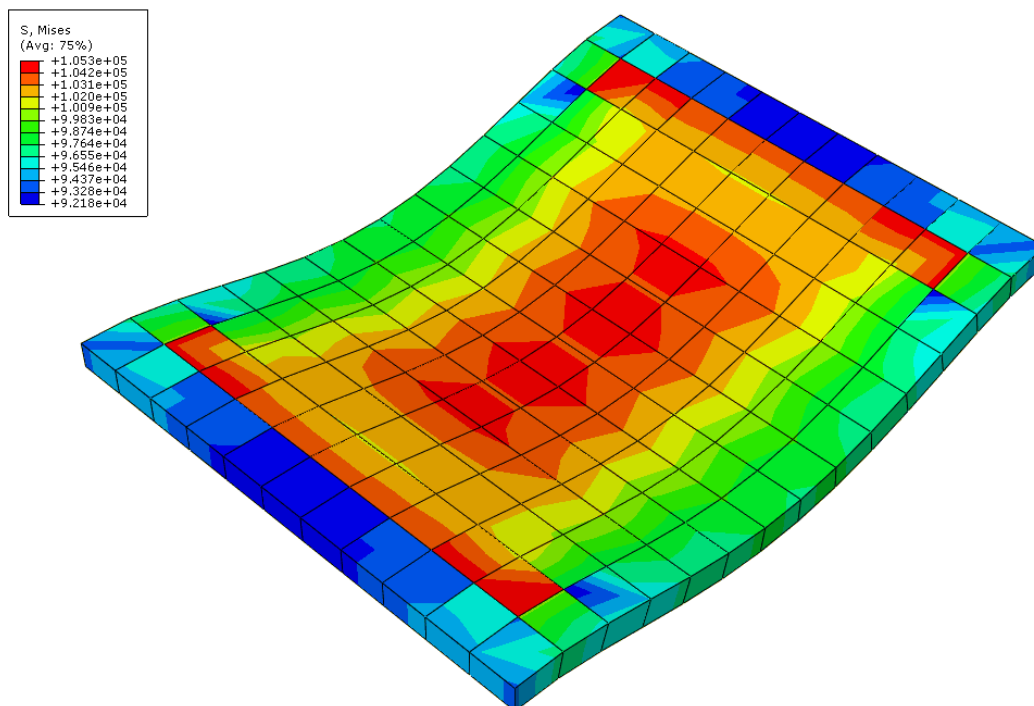


ODB: Moso.odb Abaqus/Standard Student Edition 6.9-2 Sun May 17 11:18:08 Hora de verano romance 2015



Step: Step-1
Increment 1: Step Time = 1.000
Primary Var: U, U3
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.913e+01

Figura 21. Desplazamiento eje z.



ODB: Moso.odb Abaqus/Standard Student Edition 6.9-2 Sun May 17 11:18:08 Hora de verano romance 2015



Step: Step-1
Increment 1: Step Time = 1.000
Primary Var: S, Mises
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.913e+01

Figura 22. Distribución tensión.

El desplazamiento máximo se produce en la zona central, con un valor de 2.61 mm. Esto es normal ya que es la zona donde no existe ningún apoyo. Y una tensión de Von Mises máxima de 9.2×10^4 Pa. Esta tensión no supera a la máxima tensión de rotura del bambú Moso que es de 90×10^6 Pa [18].

7.3. Rediseño

Una vez realizado el estudio del comportamiento mecánico de la parte más crítica, se realiza el diseño teniendo en cuenta las puntuaciones de los métodos anteriormente descritos. El programa empleada a la hora de desarrollar el diseño de la silla ergonómica es Solid Edge ST7 versión estudiantil.

Los componentes de los que va a constar la silla son:

- Asiento
- Respaldo
- Patas
- Tornillería

El tamaño de las piezas tiene que ser estándar porque su uso va ser llevado a cabo por un alto rango de variedad respecto a la constitución tanto de hombres como de mujeres.

La elección del bambú como material para el asiento y el respaldo se debe a sus características mecánicas y la posibilidad de ser un material con altas capacidades de renovación. Ya que si se rompiera alguna pieza sería fácil de reemplazar. Esa pieza en mal estado se podría utilizar con otras funciones mediante algún tipo de conversión, como podrían ser convertirla en pellets para quemar en calefacción o para la fabricación de serrín.

El acero se ha escogido por su gran resistencia mecánica y a su uso extendido en la industrial que hará reducir el precio final de la silla, facilitar la fabricación y mantenimiento, aumentar la vida útil de uso y poder vender como chatarra para usarlo en fundición.

7.3.1. Asiento

El asiento tiene los bordes redondeados para facilitar la circulación de la sangre.

En el asiento se han realizado agujeros pasantes para llevar a cabo la unión de las distintas piezas con la estructura de metal.

Para que los tornillos no sobresalgan de la superficie de apoyo del cuerpo molesten y se produzcan cortes y molestias, se ha realizado agujeros con el tamaño de la cabeza del tornillo.

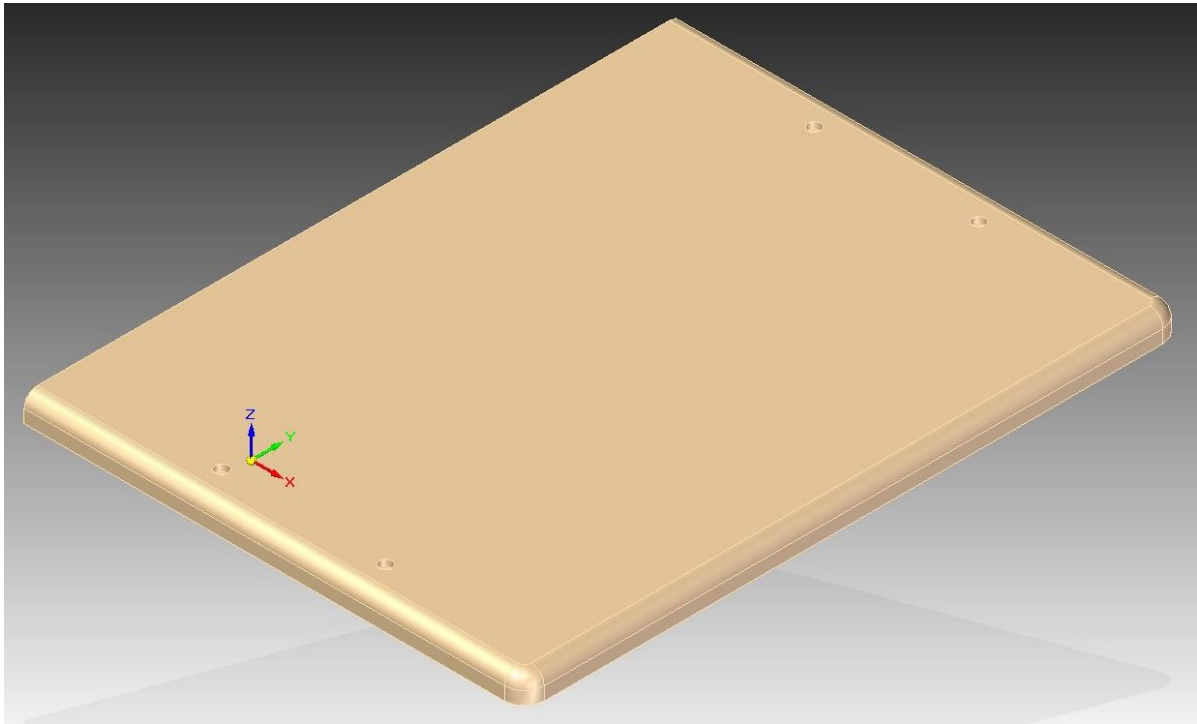


Figura 23. Asiento en 3D.

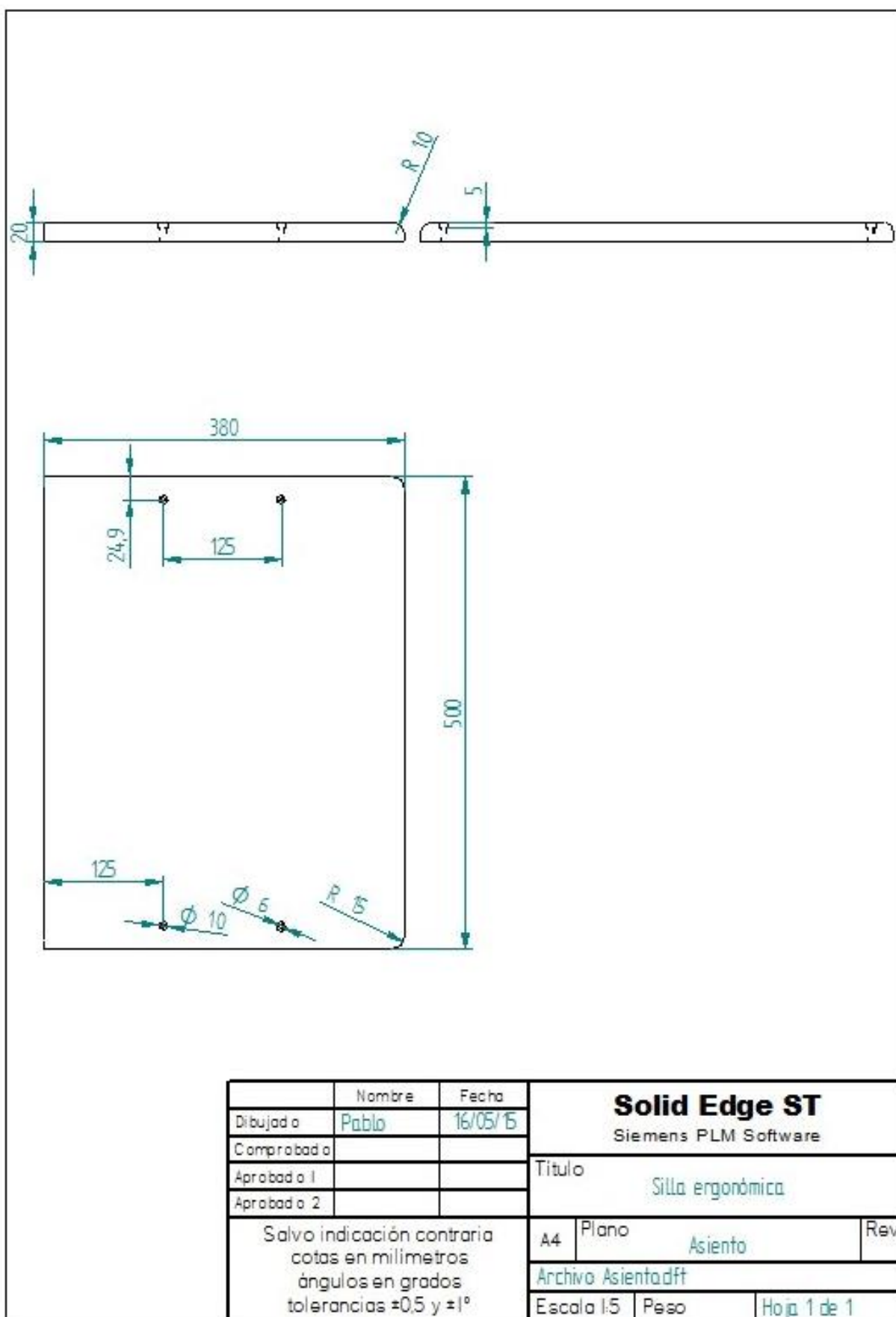


Figura 24. Plano asiento.

Las dimensiones del asiento se han diseñado teniendo en cuenta la antropometría de la sociedad española tanto de hombres como de mujeres.

El ancho del asiento es de 500 mm ya que el contorno de cintura con más porcentaje de la población cubierta con un 15.1% es de 100 cm. Simplificando los cálculos se toma la mitad del contorno de la cintura como el ancho de la cintura para así maximizar la medida y poder de esta forma aumentar el número de personas que se podrían sentar sin sobrepasar este ancho. En el caso del ancho del asiento se escoge en función de las medidas de los hombres ya que las medidas de las mujeres son menores y reduciríamos el número de hombres que podrían hacer uso de la silla [19, 20].

7.3.2. Respaldo

El redondeo de la cara superior con las laterales se realiza para que las esquinas no se claven en el cuerpo de la persona que se vaya a sentar y produzca heridas y molestias.

El mismo método que se ha llevado a cabo en el asiento respecto a los agujeros de los tornillos se ha llevado a cabo también en el respaldo.

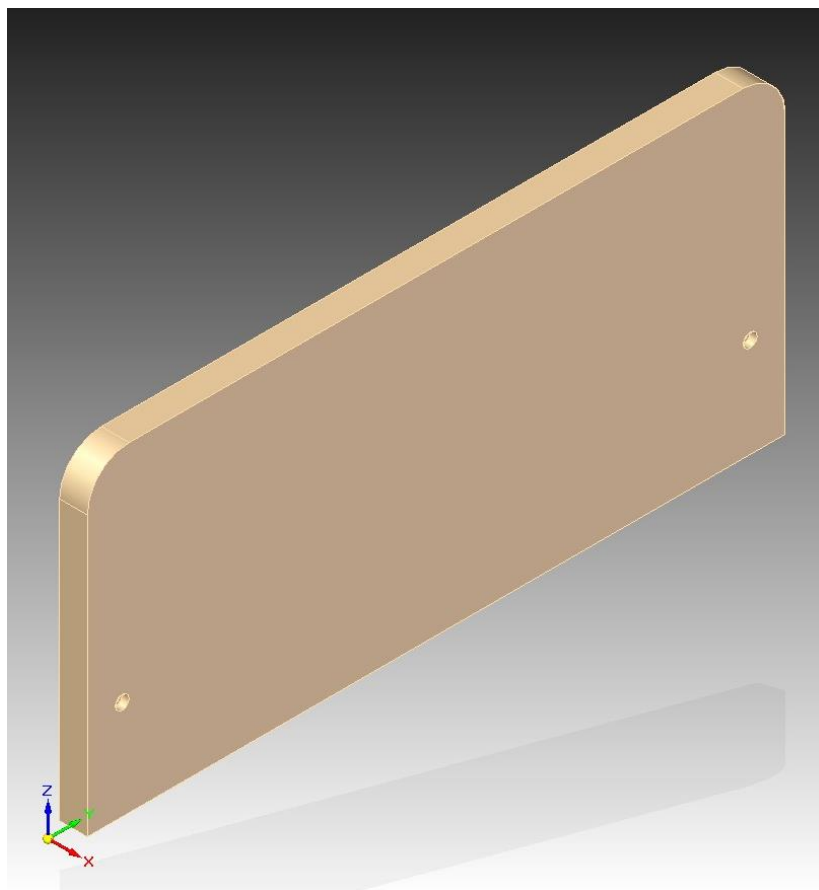


Figura 25. Respaldo 3D.

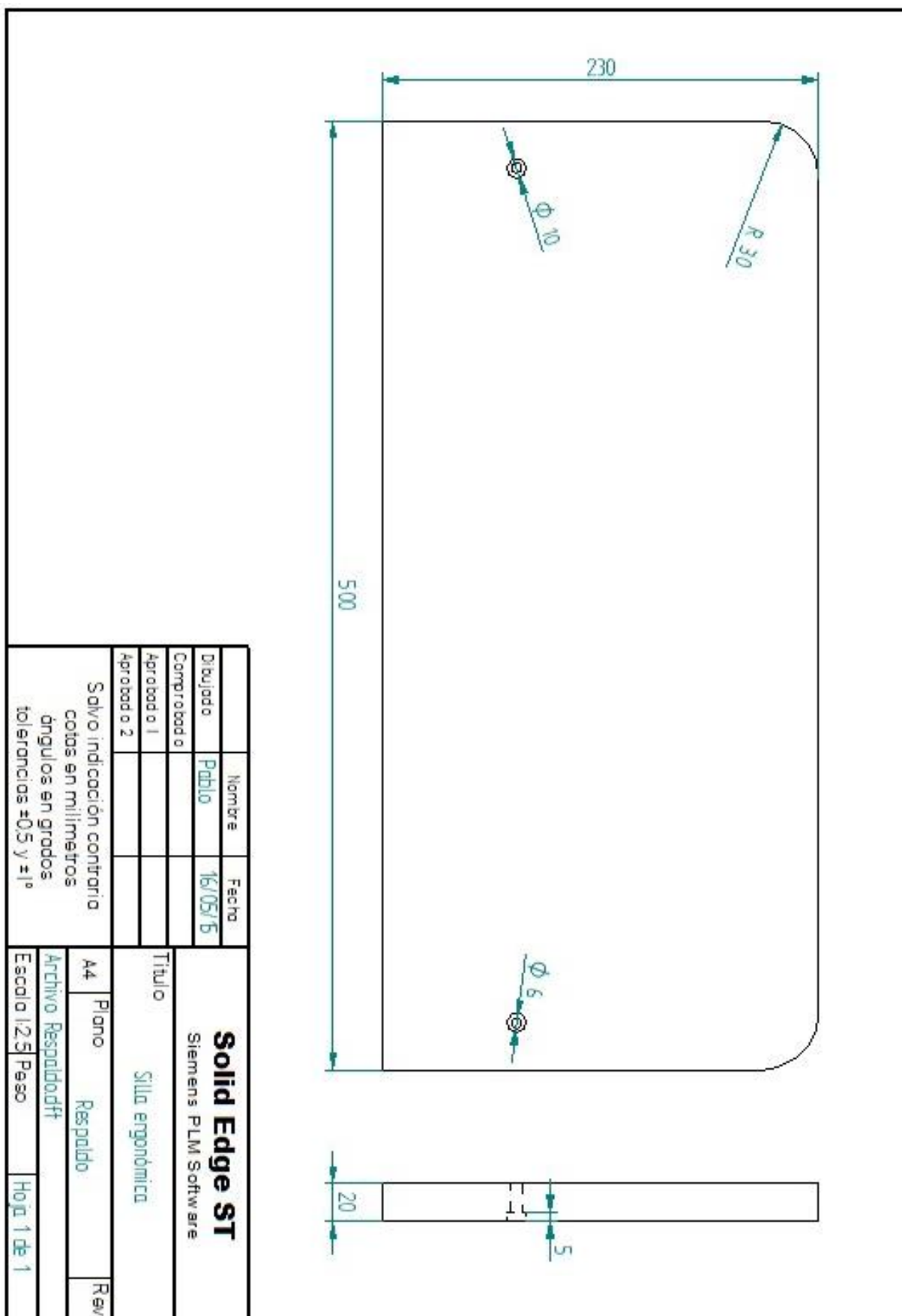


Figura 26. Plano respaldo.

Las dimensiones del respaldo se ha diseñado teniendo en cuenta la antropometría de la sociedad española tanto de hombres como de mujeres [19, 20].

7.3.3. Pata

Se deben emplear dos piezas idénticas de la pata para construir la silla. Existen varios motivos por el cual se emplean dos piezas separadas y no una sola. Una razón es para facilitar el mantenimiento de la silla y reducir costes tanto de producción y mantenimiento de la misma. Al ser dos piezas independientes pero iguales a la hora de realizar una reparación si una pata tiene algún fallo se puede realizar el cambio de una sola reduciendo así la duración y el coste del cambio. El otro motivo es por el método de producción, es más barato fabricar piezas simples que piezas más complejas geométricamente.



Figura 27. Pata 3D.

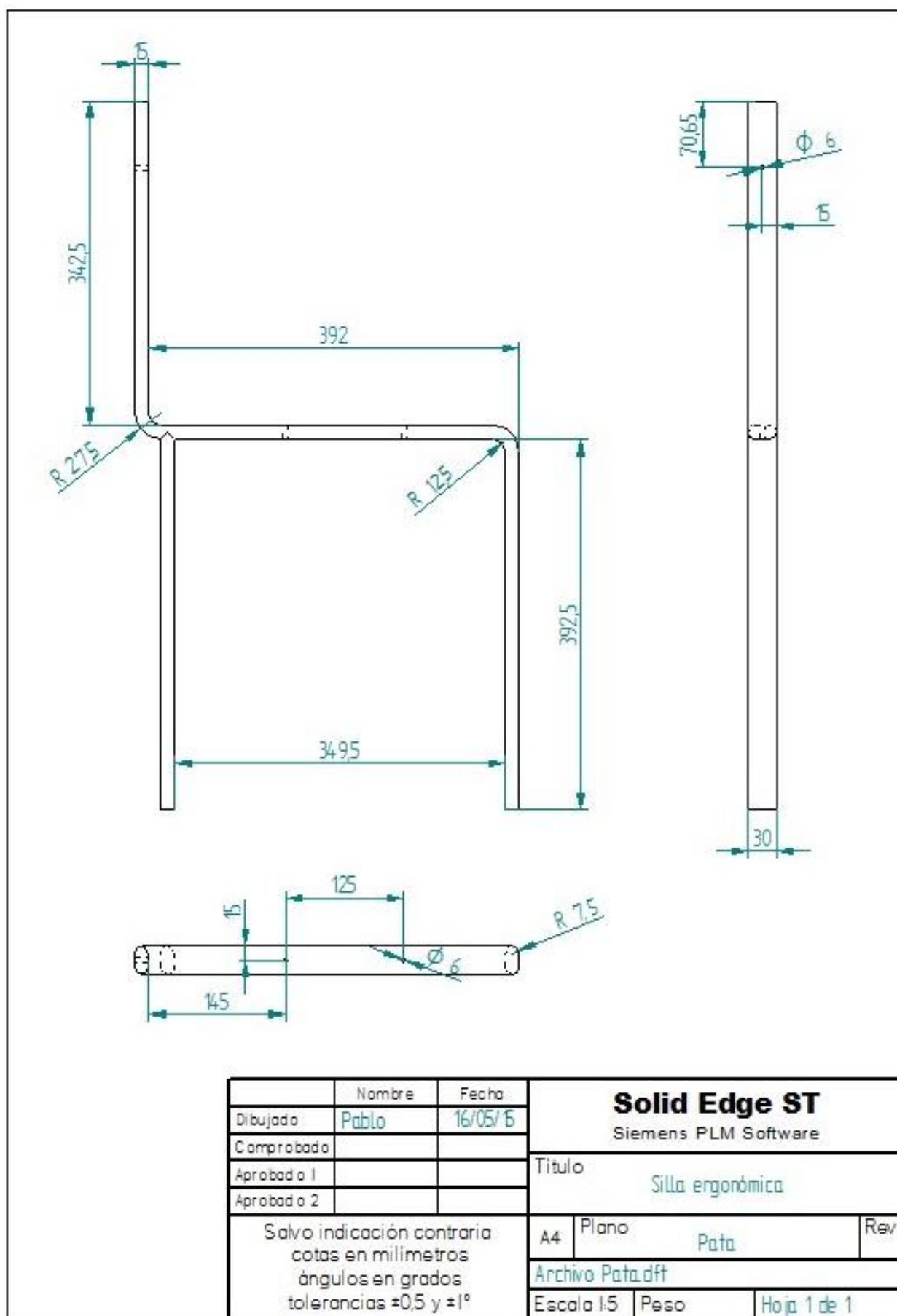


Figura 28. Plano pata.

La altura de la silla y la altura a la que se coloca el respaldo están realizadas en función a la antropometría tanto de hombres como de mujeres.

La altura máxima del respaldo se tiene que situar a 430 mm de la superficie superior del asiento para que así de esta forma se pueda apoyar correctamente la espalda en el respaldo tanto hombres como mujeres. Esta altura es el resultado de tener en cuenta la distancia del cuello a la cadera y la distancia del cuello a las axilas. La diferencia entre las dos medidas es la altura máxima que se toma para el diseño. Esta diferencia es muy parecida tanto en hombres como en mujeres y por ese motivo se puede tomar como general [19, 20].

7.3.4. Tornillo

Las dimensiones del tornillo están normalizadas. El tornillo escogido es DIN-912/ISO-4767. Ver anexo A.

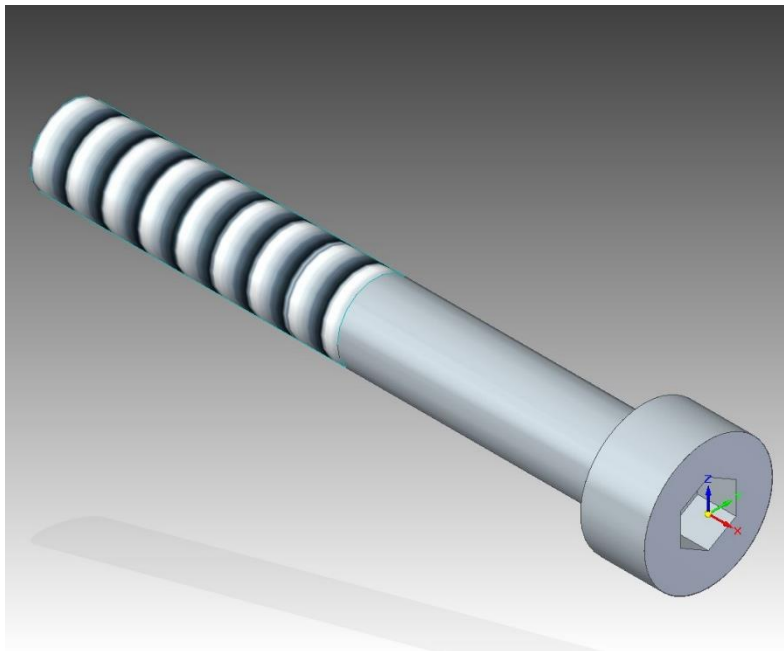


Figura 29. Tornillo 3D.

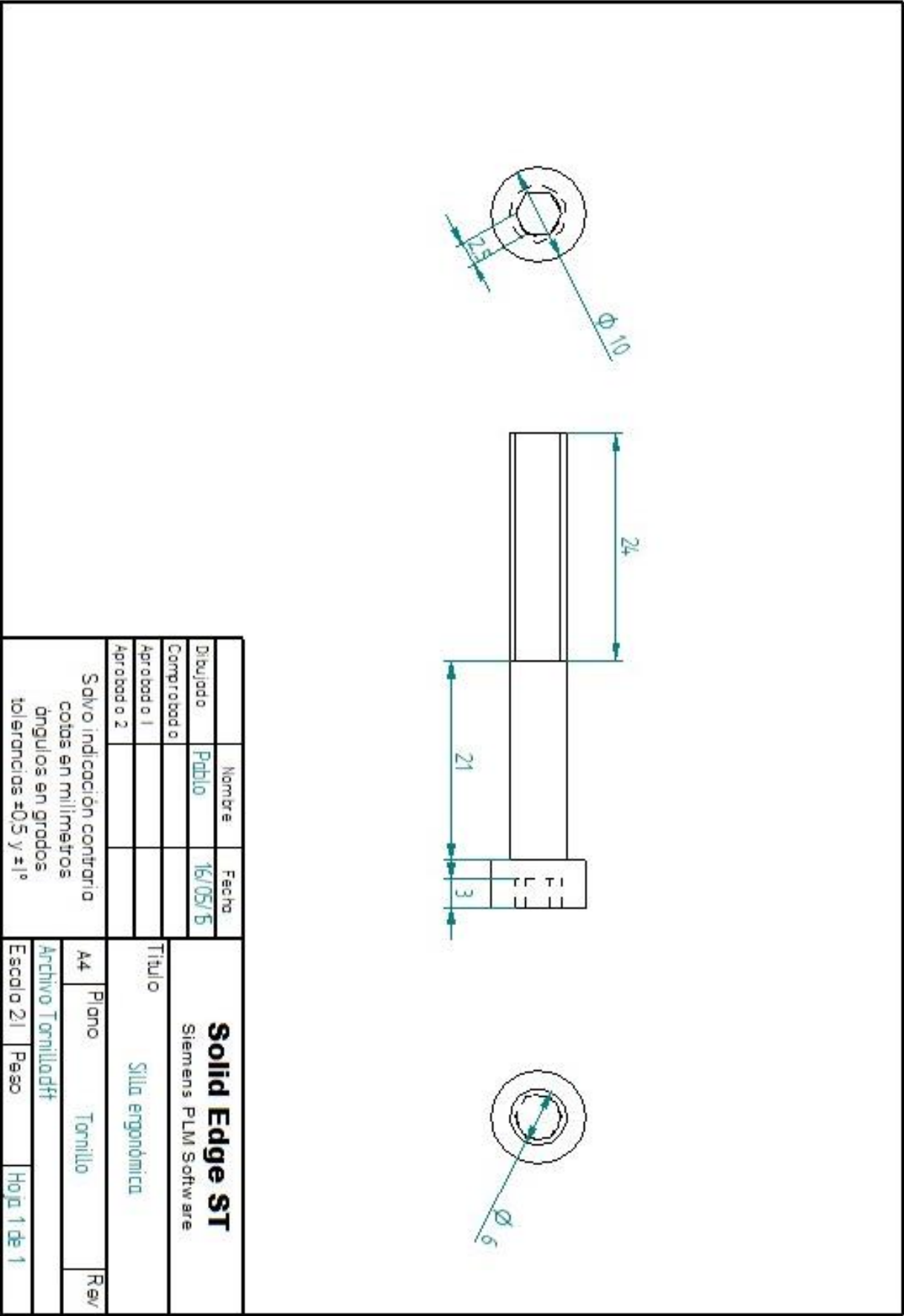


Figura 30. Plano tornillo.

7.3.5. Tuerca

Las dimensiones de las tuercas están normalizadas. La tuerca escogida es la DIN-439/ ISO-4035. Ver anexo A.

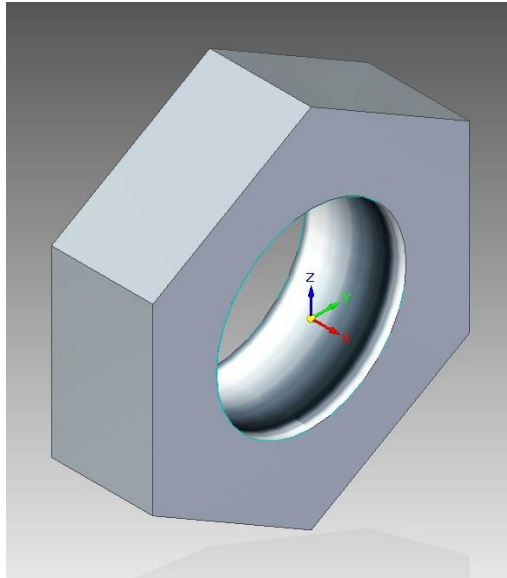
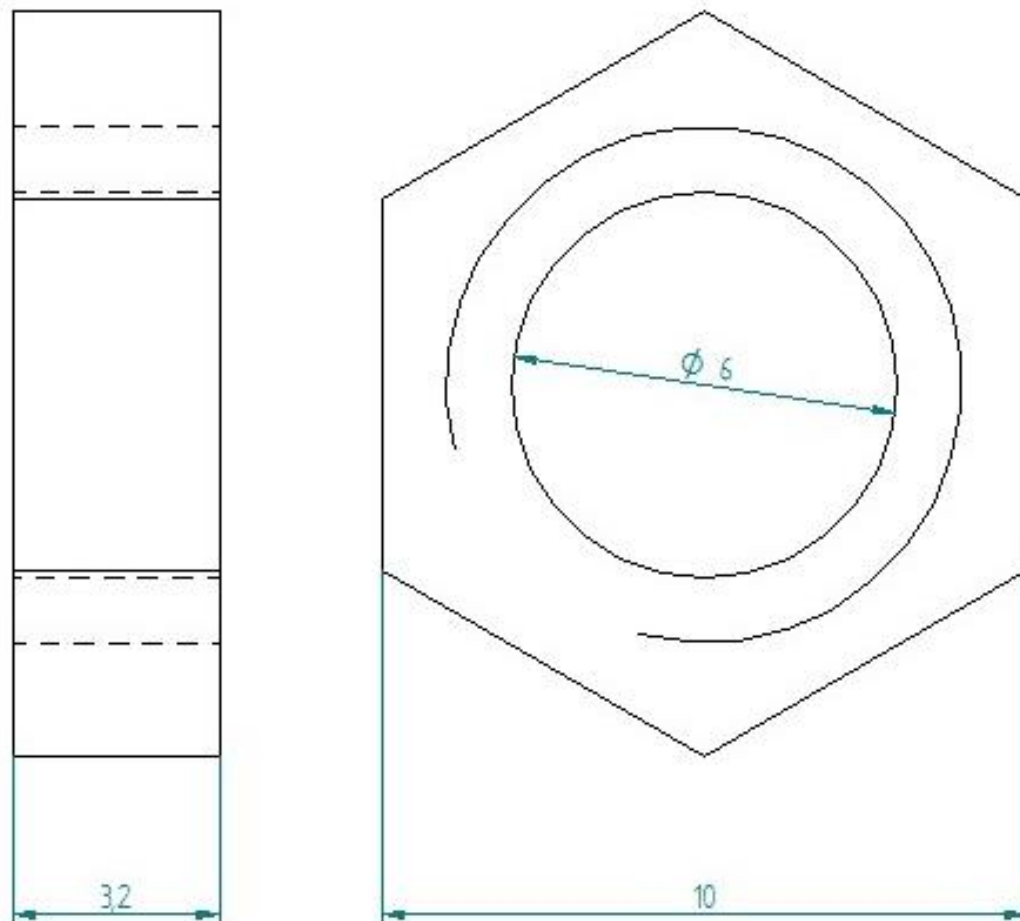


Figura 31. Tuerca 3D.



	Nombre	Fecha	Solid Edge ST		
Dibujado	Pablo	16/05/16	Siemens PLM Software		
Comprobado			Título Silla ergonómica		
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			A4	Plano	Rev
			Tornillo		
			Archivo Tuerca.dft		
			Escala 10:1	Peso	Hoja 1 de 1

Figura 32. Plano tuerca.

7.3.6. Silla

Con el nuevo diseño de la silla se han aplicado todas las mejoras propuestas. Se puede apreciar las grandes diferencias existentes entre ellas.

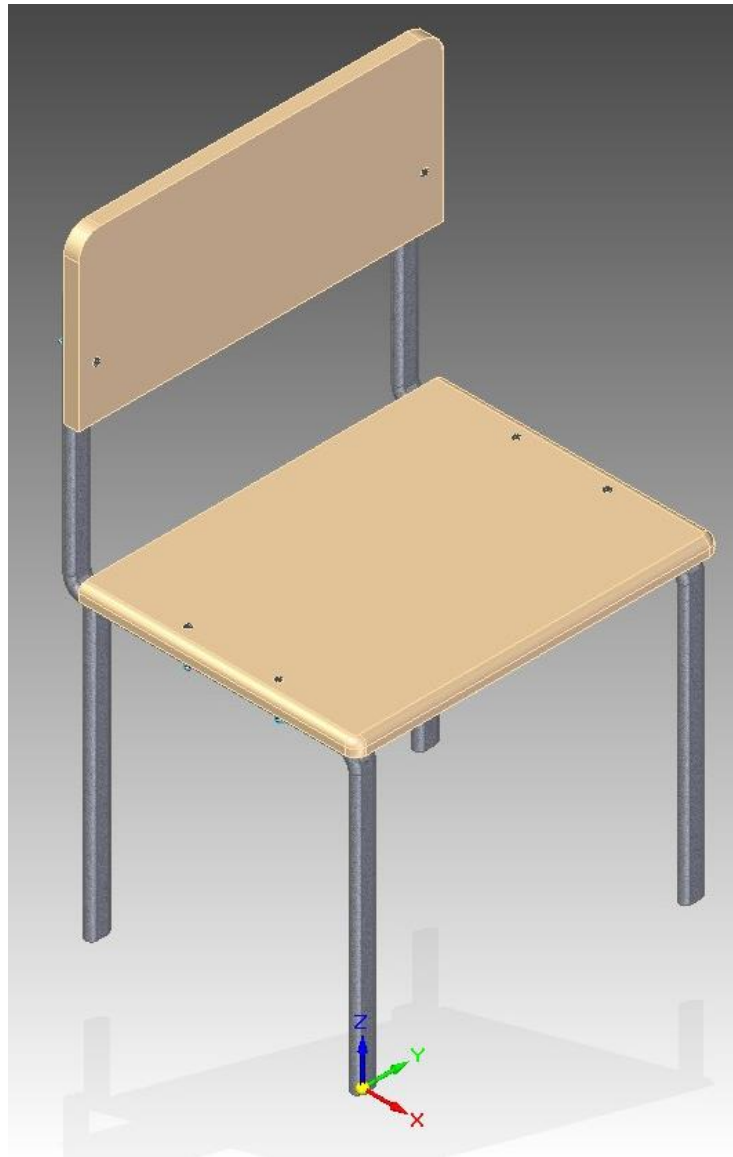


Figura 33. Silla 3D.

En un primer lugar se ha desanclado de la mesa inmediatamente posterior para otorgar movimiento en referencia a la mesa a utilizar. En la silla original el material empleado en la silla completa es acero y en el nuevo diseño se ha hecho uso de dos materiales como son el bambú para las zonas en contacto con el cuerpo humano y acero para las patas y la tornillería. Se ha cambiado también el ángulo del respaldo para que el ángulo entre el asiento y el respaldo sea de 90° ya que es la inclinación ergonómicamente más correcta y favorable.

7.4. Recalculación de Posición

Según los métodos anteriormente descritos se calculan los resultados para un uso cotidiano de la silla rediseñada.

7.4.1. Método REBA

Según el método las puntuaciones que resultan de la postura normal en la silla rediseñada son:

En el grupo A:

- Tronco: 1. Por postura erguida.
- Cuello: 1. Por flexión sin torsión o inclinación lateral entre 0°-20°.
- Piernas: 1+1=2. 1 por estar sentado y se suma 1 por la flexión de rodillas entre 30°-60°.

Según la tabla 10 el resultado del grupo A sería igual a 2. A este valor habría que añadirle un coeficiente según corresponda según la tabla 11 en función de la relación carga/fuerza, en el caso de estudio el coeficiente es 0, por lo cual el valor del grupo A permanece igual.

En el grupo B:

- Brazo: 2-1=1. 2 por flexión de 21°-45° y se resta 1 porque existe apoyo en la mesa.
- Antebrazo: 1. Por flexión entre 60°-100°.
- Muñecas: 1. Por flexión/extensión entre 0°-15°.

Según la tabla 12 el resultado del grupo B sería igual a 1. A este valor habría que añadirle un coeficiente según corresponda según la tabla 13 en función del tipo de agarre, en el caso de estudio el coeficiente es 0 ya que el agarre es bueno, por lo cual el valor del grupo B sería 1.

Con el resultado final de los dos grupos y haciendo uso de la tabla 14 se obtiene el resultado final. En este caso el resultado obtenido es de 1. A este resultado se puede ver incrementado por ciertos factores que en nuestro caso se cumple que una o más partes del cuerpo están estáticas por lo cual el resultado se ve incrementado en 1, dando lugar a un resultado final de 2.

Con el resultado final se comprueba el nivel de acción, de riesgo y la intervención y posterior análisis según la tabla 15. En la postura estudiada los niveles son los siguientes:

- Nivel de acción: 1.
- Nivel de riesgo: Bajo.
- Intervención y posterior análisis: Puede ser necesario.

7.4.2. Método RULA

La postura a estudiar y la silla es la misma que en el método anterior.

Según el método las puntuaciones que resultan de esta postura son:

En el grupo A:

- Brazos: $2-1=1$. 2 por flexión entre 45° - 90° y -1 porque el peso del brazo está apoyado.
- Antebrazos: 1. Por flexión entre 60° - 100° .
- Muñecas: 1. Por flexión o extensión de 0° .

Según la figura 9 el resultado del grupo A es de 1.

En el grupo B:

- Cuello: 1. 0° - 10° de flexión.
- Tronco: 1. Por estar bien apoyado.
- Piernas: 1. Piernas y pies bien apoyados y en una postura de equilibrio.

Según la figura 10 el resultado del grupo B es de 1.

Una vez se obtienen las puntuaciones de los dos grupos el siguiente paso consiste en sumar unos coeficientes a los dos grupos por igual si se cumplen una serie de requisitos.

El primer coeficiente que se podría añadir es en función del uso muscular. En esta postura al ser una postura estática, el coeficiente adquiere un valor de 1.

El segundo coeficiente es en función de la aplicación de fuerzas. En este caso al no existir resistencias, el coeficiente es 0.

Por lo tanto se le debe añadir una unidad a los resultados de ambos grupos. Siendo el resultado final de cada uno:

- Grupo A: 2.
- Grupo B: 2.

Con el resultado final de ambos grupos se obtiene el resultado final del método usando la figura 12. Siendo el resultado final de 2. Según la puntuación resultante existen varios niveles de acción. Al tener una puntuación de 2 el nivel de acción según la tabla 17 es de nivel de acción 1, que significa que la postura es aceptable si no se mantiene o repite durante largos periodos.

<i>Diseño</i>	<i>Método REBA</i>	<i>Método RULA</i>
<i>Inicial</i>	5	3
<i>Rediseño</i>	3	2

Tabla 19. Puntuaciones de los métodos antes y después del rediseño.

7.5. Emisiones de CO₂

Para realizar el estudio de las emisiones de CO₂, a la hora de fabricar la silla, se tienen en cuenta las emisiones de los dos materiales empleados en la fabricación de la silla, el bambú y el acero.

En el caso del bambú en vez de emitir CO₂ lo que hace el bambú es absorberlo, por la consiguiente es un material que durante su producción disminuye la cantidad de CO₂ que existe en la tierra. Esta característica hace que al fabricar la silla con este material se ayude al medio ambiente, el cual era uno de los objetivos de este diseño a la vez que se mejoraba la ergonomía de la misma.

Aunque la producción del bambú no genere CO₂ su transporte si lo hace, estimándose un valor de 0.225 kg de CO₂ por para kg de bambú teniendo en cuenta que el bambú es un material que no se produce en España [21, 22].

Para el respaldo de las sillas se emplean 0.0061 m³ de bambú, con una densidad de 600 kg/m³. El peso total del respaldo y el asiento sería:

$$0.0061 * 600 = 3.66 \text{ kg}$$

Aproximadamente, ya que no se ha tenido en cuenta los redondeos de las caras ni los agujeros.

La emisión de CO₂ para el asiento y el respaldo sería:

$$3.66 * 0.225 = 0.8235 \text{ kg CO}_2$$

Para realizar una aproximación, para fabricar acero en el sector de la siderurgia en España se emitieron 11.3 toneladas de CO₂ para producir un total de 19 toneladas en el año 2007 [23].

Serian 0.59 toneladas de CO₂ para producir una tonelada de acero que es lo mismo que 0.59 kg CO₂/ kg acero.

Figura 34. Peso, volumen y área de superficie de la pata.

Para las patas de la silla se emplean 4.716 kg de acero que viene dado por el propio programa de diseño, Figura 34, dando como resultado:

$$0.59 * 4.716 = 2.782 \text{ kg } CO_2$$

La emisión total de CO₂ es la suma de las dos contribuciones.

$$0.8235 + 2.782 = 3.6055 \text{ kg de } CO_2 \text{ para cada silla}$$

Para este cálculo no se ha tenido en cuenta la capacidad de absorción de CO₂ del bambú. Esto se debe a que el estudio está centrado solamente en la fabricación de la silla, si lo tuviéramos en cuenta este valor de emisiones sería mucho menor.

Este valor es menor que si se hiciera toda la silla de metal como es nuestro caso.

8. Conclusiones

El objetivo principal del trabajo se ha llevado a cabo ya que la puntuación de los distintos métodos de cálculo ergonómico se ha reducido, ver tabla 19, con el rediseño teniendo en cuenta las condiciones de ecodiseño. De esta forma, se asegura una postura más ergonómica la cual repercutirá de manera positiva en el rendimiento del alumno.

A la hora de realizar el estudio el empleo de los métodos REBA y RULA es muy similar. Los dos métodos son sencillos de usar y dan una visión rápida y clara del resultado. Existen diferencias entre ellos ya que uno se centra más en el parte superior del cuerpo y el otro en todo el cuerpo en general. Los dos métodos revelaban que era posible una mejora en la silla. La parte negativa de estos métodos es que hay posturas que no se podrían realizar, como podría ser una postura con una pierna cruzada y en la posición de sentado.

Con unos pocos cambios en el diseño de la silla se pueden conseguir mejoras palpables en la ergonomía de la misma y siendo respetuosos con el Medio Ambiente al usar materiales reciclables. El coste aproximado por cada silla no es alto pero hay que tener en cuenta la cantidad de sillas que habría que cambiar y calcular el coste total aproximado de este cambio en el mobiliario del edificio Sabatini de la universidad Carlos III de Madrid.

El bambú al ser un material de crecimiento muy rápido no hay peligro de talar gran cantidad de árboles y que ello produzca deforestación, por eso su uso es muy recomendado y cada vez más se están realizando más productos y estructuras con este material. Ya que no se reduce el espacio de los bosques porque se puede producir de una manera muy rápida.

A parte de ser un material ecológico se hace uso del bambú por sus propiedades mecánicas. También al ser un material ligero se fomenta la reducción de peso del mobiliario. Evitando tener que realizar esfuerzos para su transporte, montaje, reparación y uso reduciendo los posibles TME que se podrían dar a la hora de su manipulación.

8.1. Líneas Futuras

En el trabajo no se ha realizado ningún estudio sobre aspectos sociodemográficos sobre el uso de las sillas y sería interesante que se realizara, ya que la silla es un elemento el cual se usa constantemente pero al que no se presta atención debido a lo acostumbrada que esta la gente de su uso y no se da cuenta de su alta importancia en la sociedad y en lo que pueden llegar a representar.

El siguiente paso de entre trabajo sería realizar la fabricación real de la silla y realizar todos los cálculos y pruebas sobre el objeto real para verificar su correcto funcionamiento en relación a las características con las que se ha diseñado y comprobar el cálculo de las posiciones sobre el objeto real.

En la elección de materiales se podría escoger distintos materiales. Estos materiales tendrían que seguir siguiendo respetuosos con el Medio Ambiente ya que si no se perdería una condición indispensable en el ecodiseño. Estos materiales pudieran ser algún tipo de plástico o de materiales compuestos o algún recubrimiento viscoelástico en la misma estructura ya creada para aumentar el confort.

En este trabajo solo se ha realizado el estudio ergonómico y rediseño de la silla, pero también se podría analizar en el conjunto de silla y mesa ya que se usan en conjunto. Junto con esto existiría la posibilidad de hacer una comparación con otras sillas del mercado ya en venta y ver las diferencias que existirían entre ellas ergonómicamente, monetariamente y entre su comportamiento Medio Ambiental.

Al existir una gran variedad de métodos alternativos a los usados anteriormente, se podrían realizar más estudios con estos métodos como por ejemplo el uso de algoritmos genéticos [24].

Las sillas han sido diseñadas para el ámbito escolar universitario pero también podría suceder que fueran empleadas en un ámbito laboral y se podría estudiar la diferencia de la reducción de los TME en puestos de trabajo con el diseño desarrollado [25].

A la hora de diseñar se ha presupuesto una postura estática excepto en una postura dinámica pero que no es de una realización constante sino más bien muy esporádica. Se podría realizar una comparación con una combinación de posturas en las cuales habría posturas estáticas y dinámicas que se mantendrían durante un periodo de tiempo alternándolas entre si [26].

Se podrían realizar seminarios y charlas de información para enseñar y concienciar a la gente a sentarse en una postura correcta ya que en ocasiones a la hora de sentarse se adoptan posturas que no son las correctas y estas posturas pueden llevar a sufrir algún tipo de TME.

9. Presupuesto

El presupuesto consta de tres costes. El primer coste a tener en cuenta es el precio del tablero laminado de bambú empleado en el respaldo y el asiento. La segunda unidad comprende al coste del acero inoxidable que se va a emplear en la fabricación de las dos patas. Y la tercera y última a coste de la diferente tornillería que se emplea. El inventario necesario para construir una silla sería:

- 1 asiento
- 1 respaldo
- 2 patas
- 6 tornillos
- 6 tuercas

El coste del tablero laminado de bambú de 20 mm de espesor es de 314.60 €. Las dimensiones de este tablero es de 2.44x1.22 m. Es decir 2.9768 m² [27].



Figura 35. Tablero laminado bambú [27].

La silla emplea dos piezas de bambú cuyas medidas son:

- Asiento: 0.5x0.38 m. Es decir 0.19 m²
- Respaldo: 0.5x0.23 m. Es decir 0.115 m²

La superficie total de las dos piezas es de 0.305 m². Si se dividen la superficie del tablero entre la superficie requerida de la silla se obtiene:

$$\frac{2.9768}{0.305} = 9.76$$

Al ser 9.76 quiere decir que de cada tablón laminado de bambú se pueden obtener 9 sillas completas. Es decir el coste de una sola unidad sería dividir el coste del tablón entero entre 9.

$$\frac{314.6}{9} = 34.95 \text{ €}$$

681 \$/tonelada. 681 \$ son 598 € aproximadamente. Convirtiendo la medida de toneladas a kg se obtiene un precio en relación con el peso de 0.598 €/kg.

Si cada pata pesa 4.716 kg el coste total de la estructura de la silla sería:

$$4.716 * 2 = 9.432 \text{ kg}$$

El precio de la materia prima de acero sería:

$$0.598 * 9.432 = 5.64 \text{ € para las dos patas.}$$

El costo por tornillo y tuerca, según Anexo B:

$$\text{Tornillos} = 0.07 \frac{\text{€}}{\text{unidad}} * 6 = 0.42 \text{ €/silla}$$

$$\text{Tuercas} = 0.01 \frac{\text{€}}{\text{unidad}} * 6 = 0.06 \text{ €/silla}$$

$$\text{Tornillería} = \text{Tornillos} + \text{Tuercas} = 0.42 + 0.06 = 0.48 \text{ €/silla}$$

Realizando la suma de todos los costes involucrados con la materia prima se obtiene que el precio de los materiales empleados es:

$$34.95 \text{ €} + 5.64 \text{ €} + 0.48 \text{ €} = 41.07 \text{ €/silla}$$

Al coste de los materiales se tiene que sumar los costes del empaquetado para el envío y el beneficio que se tendría a la hora de la venta.

Para la venta y el envío de esta silla se envían en cajas de cartón, con la silla desmontada para que el comprador la monte. Cada caja contiene los elementos necesarios para el montaje sin incluir herramientas, ya que no se necesita ninguna herramienta especial. El envío se realiza en cajas con la silla desmontada para que de esta forma entre mayor número de sillas en un mismo envío, reduciendo de esta forma el coste de envío y las emisiones contaminantes generadas por el mismo.

El coste de la caja varía según la cantidad de unidades solicitadas al proveedor. El precio facilitado por la empresa “Rajapack” no incluye el IVA (Impuesto al Valor Agregado) ni los gastos de envío, siendo estos gratis para pedidos mayores a 250 €.

Unidades	Coste (€)
Menos de 100	6.98
Entre 101 y 199	6.28
Entre 200 y 499	5.93
Más de 500	5.58

Tabla 20. Coste cajas de transporte [28].

La caja seleccionada para realizar el embalaje tiene la referencia PCAD80, con las medidas de la tabla 21.

Alto interior	6 cm
Largo interior	82 cm
Ancho	66 cm

Tabla 21. Medidas embalaje [28].

El precio del embalaje a sumar al valor total será el más desfavorable ya que no se sabe cuántas sillas se podrían vender.

$$6.98 \text{ €} + 41.07 \text{ €} = 48.05 \text{ €}$$

A este precio final contando con el embalaje se le aplica una subida del 20% en concepto de beneficios. El precio final de cara al público será de 57.66 €.

10. Planificación TFG

A la hora de realizar el trabajo de fin de grado se realizó previamente un diagrama con las previsiones de días para completar cada apartado del trabajo, para de esta formar marcar un plan de trabajo para aumentar la productividad, figura 36.

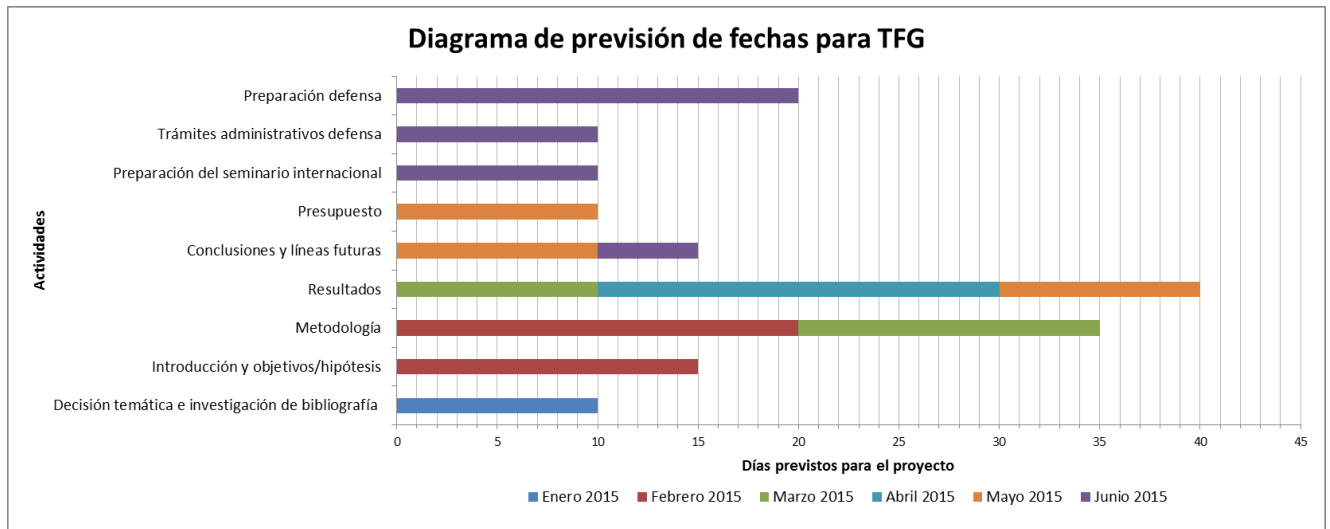


Figura 36. Diagrama de previsión de fechas para TFG.

Al tiempo que se iba completando cada apartado del TFG se añadía la información de los días que se había empleado para realizar dicho apartado y el número de días que faltaban para la entrega del trabajo haciendo uso de un diagrama de Gantt de control de tiempos, figura 37.

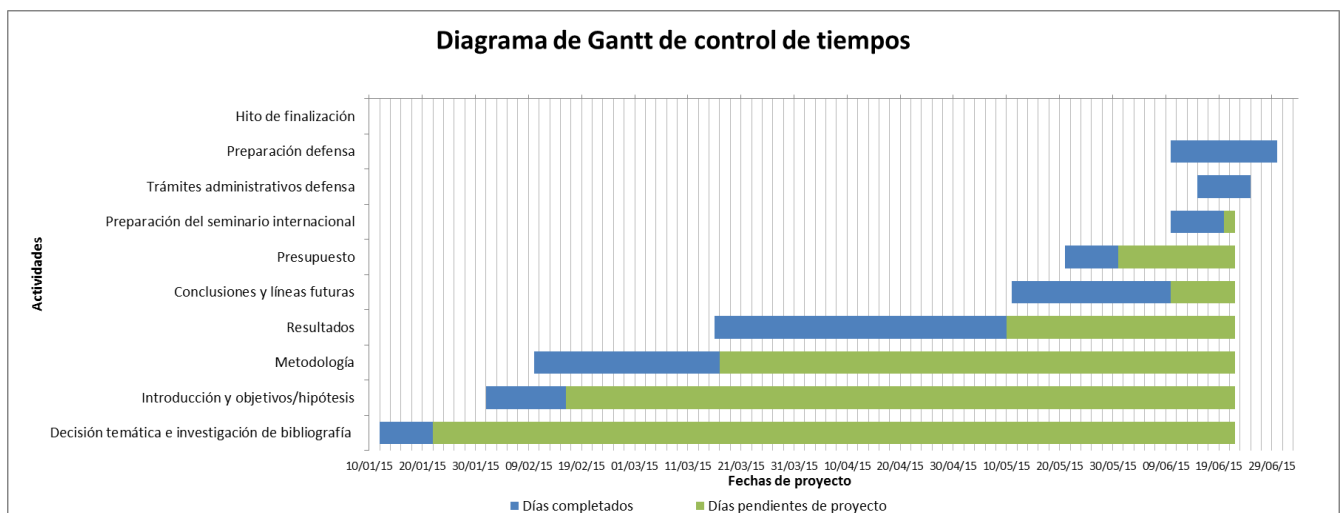


Figura 37. Diagrama de Gantt de control de tiempos.

11. Referencias

- [1] J. A. McCarthy, *A history of the folding chair (2600 B.C. - 1900 A.D.) related to user lifestyles and needs*: McCarthy, 1975.
- [2] A. M. Ahmed, "Furniture industry through the reals models and scences in the Ancient Egyptian art: Chairs, stolls models," *Res Mobilis: Revista internacional de investigación en mobiliario y objetos decorativos*, vol. 3, pp. 147-166, 2014.
- [3] B. Coriat, *El taller y el cronómetro: ensayo sobre el taylorismo, el fordismo y la producción en masa*: Siglo XXI de España, 2001.
- [4] RAE, "Diccionario de la lengua española," Espasa, Ed., ed, 2014.
- [5] M. Félix Villar Fernandez, Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, and Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, "Posturas del Trabajo. Evaluación del Riesgo," ed, p. 57.
- [6] Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo, "Trastornos Músculo-Esqueléticos en el Trabajo," ed.
- [7] Unión de Mutuas, "TME PREV Sector Admon Servicios," ed, 2010-2011.
- [8] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, "VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo," ed, 2011.
- [9] V. Zorrilla Muñoz, "Trastornos Musculoesqueléticos de Origen Laboral en Actividades Mecánicas del Sector de la Construcción.," in *Investigación Mediante Técnicas de Observación Directa, Epidemiológicas y Software de Análisis Biomecánico* ed, 2012.
- [10] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales and Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, "NTP 601: Evaluación de las condiciones de trabajo: carga postural. Método REBA (Rapid Entire Body Assessment)," ed, 2001.
- [11] S. Hignett and L. McAtamney, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)," *Applied Ergonomics*, vol. 31, pp. 201-205, 4/3/ 2000.
- [12] L. McAtamney and E. Nigel Corlett, "RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders," *Applied Ergonomics*, vol. 24, pp. 91-99, 4// 1993.
- [13] Ministerio de Empleo y Seguridad Social and Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, "Tareas Repetitivas II: Evaluación del Riesgo para la Extremidad Superior," ed, 2011.
- [14] Centro de Recursos Ambientales de Navarra and Novotec, "Foro "Metodología de Ecodiseño Siguiendo la Norma 14006"," ed, 2014
- [15] D. J. Rieradevall, "Ecodiseño y Desarrollo Sostenible," in *Nueva Estrategia de Mejora Ambiental de los Productos por Parte de las Empresas*, ed, 2010.
- [16] J. Elkington, *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*: New Society Publishers, 1998.
- [17] AENOR, "Sistemas de Gestión Ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño. (ISO14006:2011)," ed, 2011.
- [18] S. Schröder. (2011). *Comparing Mechanical Properties of Bamboo: Guadua vs Moso*. Available: <http://www.quaduabamboo.com/quadua/comparing-mechanical-properties-of-bamboo-quadua-vs-moso>
- [19] Instituto de Biomecánica de Valencia, "Estudio de Tallas y Medidas de la población femenina en España," ed, 2007.
- [20] Instituto de Biomecánica de Valencia, "Estudio de Tallas y Medidas de la población masculina en España," ed, 2014.
- [21] H. Cruz Rios, "Biomasa y Atrapamiento de Carbono en Bambú Guadua," ed, 2009.
- [22] J. E. Torres Rojas. (2012) El CO2 Derivado de la construcción y el Papel Captador del Bambú Guadua como Material Alternativo. *EcoHabitar*. Available: <http://www.ecohabitar.org/el-co2-derivado-de-la-construccion-y-el-papel-captador-del-bambu-quadua-como-material-alternativo/>
- [23] C. Riestra, A. López, and E. González, "El CO2 y la Industria en España. De la Primera Asignación de Derechos a la Etapa Post-Kioto," ed, 2009.
- [24] A. M. Brintrup, "Ergonomic Chair Design by Fusing Qualitative and Quantitative Criteria Using Interactive Genetic Algorithms," ed, 2008.

- [25] M. M. Robertson and M. J. O'Neill, "Reducing Musculoskeletal Discomfort: Effects of an Office Ergonomics Workplace and Training Intervention," ed, 2015.
- [26] Cardon, Greet, D. Clercq, , Dirk, D. Bourdeaudhuij, *et al.*, "Sitting habits in elementary schoolchildren: a traditional versus a "Moving school"," ed, 2002.
- [27] Bambusa, "Bambusa - Catalogo," ed, 2015.
- [28] Rajapack, "Rajapack-Cajas de Cartón, Contenedores, Cajas Postales," ed, 2015.
- [29] Dislas Universal en Tornillería & Herramientas, "Dislas Universal en Tornilleria," ed, 2015.

12. Anexos

12.1. Anexo A

TORNILLO CILÍNDRICO CON HEXÁGONO INTERIOR DIN-912/ISO-4767

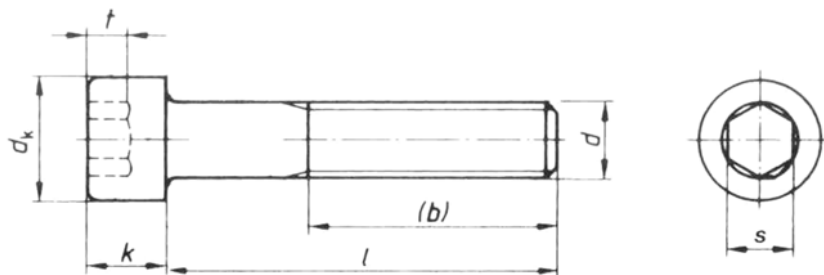


Figura 38. Tornillo cilíndrico con hexágono interior[29].

b (*1)	15	16	17	18	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72
t min.	0,7	1	1,1	1,3	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13,5	15,5
s	1,5	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	14	17	17	19	19	22
k max.	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
dk	3	3,8	4,5	5,5	7	8,5	10	13	16	18	21	24	27	30	33	36	40	45

Tabla 22. Medidas tornillo cilíndrico con hexágono interior [29].

(*1) Longitud de la rosca (siempre que $L > b$)

L	M-1,6	M-2	M-2,5	M-3	M-4	M-5	M-6	M-8	M-10	M-12	M-14	M-16	M-18	M-20	M-22	M-24	M-27	M-30
5	*	*	*	*	*													
6	*	*	*	*	*	*	*											
8	*	*	*	*	*	*	*											
10	*	*	*	*	*	*	*	*										
12		*	*	*	*	*	*	*	*									
14		*	*	*	*	*	*	*										
16		*	*	*	*	*	*	*	*	*								
18		*	*	*	*	*	*	*										
20		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
22				*	*	*	*	*		*	*	*						
25				*	*	*	*	*	*	*	*	*						
30				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
35				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
40				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
45				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
50				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
55						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
60					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
65							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
70					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
75							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

80						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
90						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
100						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
110							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
120							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
130							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
140							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
160										*		*		*		*		
170										*		*		*		*		
180										*		*		*		*		
200										*		*		*		*		

Tabla 23. Medidas tornillo cilíndrico con hexágono interior [29].

TUERCA HEXAGONAL BAJA DIN-439/ISO-4035

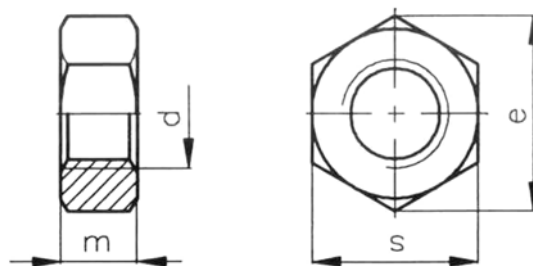


Figura 39. Tuerca [29].

M	s	e	m
M-1,6	3,2	3,48	1
M-2	4	4,32	1,2
M-2,5	5	5,45	1,6
M-3	5,5	6,01	1,8
M-4	7	7,66	2,2
M-5	8	8,79	2,7
M-6	10	11,05	3,2
M-8	13	14,38	4
M-10	17	18,9	5
M-12	19	21,1	6
M-14	22	24,49	7
M-16	24	26,75	8
M-18	27	29,56	9
M-20	30	32,95	10
M-22	32	35,03	11
M-24	36	39,55	12
M-27	41	45,2	13,5

M-30	46	50,85	15
M-33	50	55,37	16,5
M-36	55	60,79	18
M-39	60	66,44	19,5
M-42	65	71,3	21
M-45	70	76,95	22,5
M-48	75	82,6	24

Tabla 24. Medidas tuerca [29].

12.2. Anexo B

Presupuesto DISLAS Universal Tornillería & Herramientas, S.L.

Presupuesto

Universal Tornillería & Herramientas, S.L.
CL Alonso Ojeda, 20
36207 - Vigo
PONTEVEDRA
Teléfono : 986 26 40 43
C.I.F.: B-27.703.172



PRESUPUESTO	FECHA	REF_CLIENTE
2699	08/06/2015	

Pablo

REFERENCIA	CONCEPTOS	Cantidad	Precio Unidad	Dto.	IMPORTE NETO
D91280545 D93605	TOR.C/CILIN ALL DIN-912 (8.8) 05X45 ZIN TUERCA BAJA DIN 936 /439 M5 ZINC	1 1	0,0696 0,0108		0,07 0,01

SUMA BRUTO	DTO. P.P. % IMPORTE	DTO. GENERAL % IMPORTE	TOTAL Sin IVA
0,08			0,08

Forma de Pago : Contado	Agente :
----------------------------	----------